

Beiträge zur Kenntnis der Farbverteilung in Fluoritkristallen.

Von

H. STEINMETZ und E. BRÜLL.

Mit 17 Textabbildungen.

(Eingegangen am 20. November 1953.)

Wesentlichste Ergebnisse: An tiefblau gefärbten Fluoritkristallen von Wölsendorf und Epprechtstein sind die dicksten intensiv und homogen gefärbten und kristallographisch orientierten Schichten von der Größenordnung einiger μ . Anscheinend dickere Schichten bestehen aus Wechsellagern intensiv farbiger und nahezu farbloser Anteile. Diese Schichtensysteme werden als das Ergebnis des normalen Kristallwachstums angesehen. Für die Deutung der Entstehung eines zweiten Systemes von Färbungen, das auf den Wechschichten nur annähernd senkrecht steht und daher nicht kristallographisch orientiert ist, muß noch die Existenz von kolloidalen Teilchen in der Lösung angenommen werden. Gewisse Folgerungen, die sich aus diesen beiden Arten von Färbungen für die Symmetrie der Fluoritkristalle ergeben, werden diskutiert.

Die Verteilung von Färbungen in Fluoritkristallen ist wiederholt untersucht worden, zuletzt in der ausführlichen Arbeit von H. HABERLANDT und A. SCHIENER [2]. In Fortführung eigener Untersuchungen [8] wird das Problem der Farbverteilung mit neuen Beobachtungen weiter geklärt. Die mitzuteilenden Befunde beziehen sich auf intensiv blaue und violette Fluorite der hydrothermalen Ganggruppe von Wölsendorf und ebensolcher von pegmatitischer Bildungsweise von Epprechtstein.

1. Befunde.

Im Wölsendorfer Fluoritgebiet, zumal auf Grube Roland, Anna und der Johanniszeche, finden sich neben vielen hell gefärbten auch äußerlich beinahe schwarz erscheinende Hexaeder. Sie sitzen auf Klüften zusammen mit weniger gefärbten Spatmassen, mitunter auch direkt dem granitischen Muttergestein auf. Trotz ihrer dunklen Färbung sind sie nicht dilut durchgefärbt, sondern enthalten häufig nur an der Oberfläche, öfters aber auch im Innern, Schichten parallel zu den Hexaederflächen von intensiver Färbung. Ihre Dicke beträgt einige Millimeter bis zu einigen μ , während die Hauptmasse der Kristalle farblos ist. An Schliffen senkrecht zu den dickeren Farbschichten erkennt man, daß diese aus Wechsellagern von dickeren nicht oder nur wenig gefärbten und etwa μ -dünnen intensiv gefärbten Schichten bestehen (Abb. 1 und 2). Ähnliche Verhältnisse finden sich auch an Streifensystemen der Orientierung // (110), (111) und in manchen Hexaederecken // (311). Die Tabelle 1 enthält Abstandsmessungen von Mitte zu Mitte aufeinanderfolgender 1—2 μ dicker Blauschichten von hexaedrischer und rhombendodekaedrischer Orientierung. Aus ihnen läßt sich keine bestimmte Abstandsfolge ableiten. Die Farbschichten durchsetzen auch

nicht gleichmäßig den ganzen Kristall, sondern wechseln in ihrer Stärke, verschwinden auch streckenweise ganz, um dann wieder in einer neuen Reihenfolge anzusetzen. Daher kommt es, daß man bei Messungen an verschiedenen Stellen immer wieder andere Schichtfolgen erhält. Es ist hiernach festzustellen, daß die größte erkennbare Dicke einer intensiv und dilut durchgefärbten Schicht von der Größenordnung der μ ist und anscheinend breitere Schichten in Wirklichkeit aus Wechsellagern gefärbter und dickerer ungefärbter Schichten aufgebaut sind. Als Besonderheit der dünneren Farbschichten sei erwähnt, daß sie nicht selten eine feine Wellung zeigen mit Krümmungsradien von etwa 10μ , Anzeichen der bekannten Mosaikstruktur der Fluoritkristalle.

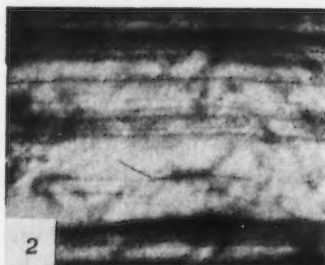
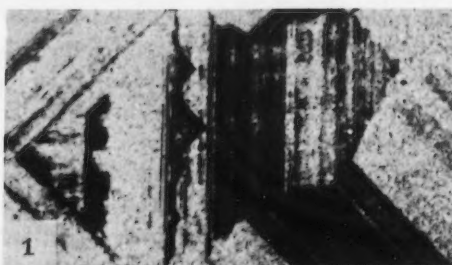


Abb. 1. Aufteilung breiterer hexaedrischer Farbschichten in Feinschichten. An Stelle einer hexaedrischen Ecke ein Stapel „intermediärer“ rhombendodekaedrischer Schichten. Kristall von Wölsendorf. Vergr. 48fach, daher die feinsten Schichten noch nicht sichtbar.

Abb. 2. Hexaedrische Farbschichten von der Größenordnung der μ , absetzend und leicht gewellt. Kristall von Wölsendorf. Vergr. 325fach

Komplizierter, wenn auch in vielem analog, liegen die Verhältnisse der Farbenverteilung bei manchen Kristallen vom Epprechtstein. In den pegmatitischen Drusenräumen dieses Vorkommens finden sich neben kleinen Quarz-

Tabelle 1. Kristall von Wölsendorf.

| Mittenabstände in μ farbiger Schichten an verschiedenen, beliebig gewählten Stellen zweier hexaedrischer Systeme | | | | | Mittenabstände farbiger Schichten an 2 beliebig ge- wählten Stellen des rhomben- dodekaedrischen Systems der Abb. 1 | | Reichweiten- differenzen von α -Strahlen nach A. SCHILLING |
|--|------|-----|-----|-----|---|-----|---|
| a | b | c | d | e | a | b | |
| 5,8 | 1,9 | 3,4 | 4,1 | 2,9 | 5,4 | 6,6 | RaC 11,0 |
| 5,9 | 22,2 | 2,9 | 4,4 | 4,0 | 2,4 | 4,5 | RaA 3,0 |
| 2,9 | 5,0 | 2,1 | 2,1 | 2,3 | 4,6 | 3,7 | Em 1,2 |
| 2,2 | 1,4 | 2,3 | 2,1 | 1,5 | 2,4 | 3,3 | Po 2,4 |
| 1,5 | 4,6 | 5,2 | 4,3 | 4,1 | 5,3 | 3,5 | Ra 1,1 |
| 5,7 | 1,8 | 1,3 | 2,1 | 2,1 | 9,4 | 3,8 | Io 1,4 |
| 5,8 | 2,0 | 1,1 | 1,8 | 2,1 | 2,8 | 6,3 | UII 0,4 |
| 2,8 | 1,4 | 5,3 | 2,4 | 1,3 | 1,7 | 2,4 | UI 14,0 |
| 1,3 | 5,0 | 5,7 | 7,8 | 1,9 | 1,9 | 5,0 | Zentrum |
| 1,9 | 5,7 | | | 1,1 | 10,5 | 3,2 | |
| | 2,0 | | | 6,3 | 1,2 | 5,0 | |
| | | | | 5,4 | 3,4 | 4,2 | |
| | | | | | 2,5 | 4,6 | |
| | | | | | 1,8 | 1,6 | |
| | | | | | 2,3 | 3,4 | |
| | | | | | | 2,7 | |
| Mittel: 3,6 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 2,9 | 4,8 | 4,0 | |

kristallen und rötlichen Apatiten manchmal farblose Hexaeder von Fluorit bis zu 2 cm Kantenlänge, die im Inneren einen tiefblauen, ebenfalls hexaedrisch begrenzten Kern enthalten. Dieser Kern beansprucht etwa die Hälfte bis 2 Drittel des Gesamtvolumens. Im Gegensatz zu den Kristallen von Wölsendorf ist hier die hauptsächlichste Färbung im Zentrum des Kristalls, also zu Beginn seines Wachstums, angeordnet, und nur selten finden sich hier farbige Außenschichten.

Die farbigen Kerne sind nicht homogen gefärbt, ihren komplizierten Bau zeigen die Querschnittsaufnahmen (Abb. 3 und 4¹). Besonders auffallend daran sind die diagonal angeordneten farblosen Regionen, die den Kern zwischen je

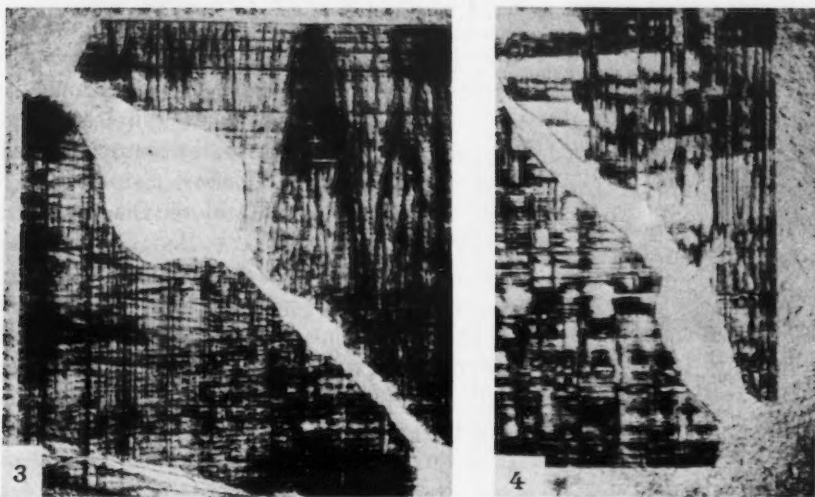


Abb. 3 u. 4. Übersichtsbilder zweier benachbarter hexaedrischer Ecke aus dem farbigen Kern eines Kristalles vom Epprechtstein. Sie zeigen die Variabilität der Form und Lage der farblosen Diagonalregionen die hexaedrischen blau-weißen Wechschichten, deren Durchkreuzung mit den „Wedeln“ endlich die nicht kristallonomischen Grenzen der farbigen Blöcke. Vergr. etwa 32fach.

einer zur Bildebene senkrecht stehenden Hexaederkante und dem Zentrum des Kristalls durchziehen und in die farblose Außenschicht übergehen. Sie sind unbestimmt hinsichtlich ihrer Gestalt und Lage; d. h. sie können zwar annähernd die Symmetrie der diagonalen Dodekaeder haben, sind aber im allgemeinen symmetrielos; ihre Gestalt wechselt nach Dicke und Form, welche oft wellenartige Krümmungen zeigt. Sie haben jedenfalls keine einfache Beziehung zur Gittersymmetrie, wenn sie auch als Bausymmetrie diagonale Dodekaeder-ebenen enthalten müssen. Sie teilen den Raum des Kristalles in 6 morphologisch sehr unregelmäßig gestaltete Anwachspyramiden auf, von denen später noch die Rede sein wird.

Diese pyramidenartigen Körper sind aufgebaut aus Wechsellagen von tiefblauen mit farblosen oder wenigstens schwach gefärbten Schichten streng hexaedrischer Orientierung. Die Dicke der blauen Schichten variiert ähnlich wie bei den Wölsendorfer Vorkommen; die dünnsten hier beobachteten Blauschichten betragen nur $0,5-1\ \mu$, die stets stärkeren Zwischenschichten sind mindestens $1\frac{1}{2}-3$ mal so stark. Die Abstände der blauen Schichten sind im Mittel etwas

¹ Die feinsten Baueinheiten sind an diesen Übersichtsaufnahmen noch nicht zu sehen!

kleiner als die der Wölsendorfer Kristalle, zeigen aber ebensowenig wie jene irgendeine Gesetzmäßigkeit (vgl. Tabelle 2). Dieser hexaedrische Schichtaufbau steht mit den farblosen Zonen insofern in Zusammenhang, als die Ecken, die von 2 senkrechten Schichtsystemen gebildet werden sollten, stets von den farblosen Räumen eingenommen werden. Die beiden Ränder der farblosen Zonen gehören also immer 2 senkrechten Streifensystemen an und zeigen niemals auf beiden Seiten die gleiche Anordnung.

Bei den Wölsendorfer Kristallen kommt der Zusammenstoß benachbarter Schichtsysteme in normalen Ecken dagegen häufig vor. Doch nimmt die Intensität der Färbung nach den

Tabelle 2. Kristalle vom Epprechtstein.

Mittenabstände in μ intensiv gefärbter Schichten von beliebiger Auswahl besonders guter Vorkommen, Typ der Abb. 11

| | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 4,3 | 0,9 | 2,3 | 1,5 | 2,5 | 0,7 |
| 3,2 | 2,5 | 3,5 | 3,4 | 1,4 | 3,4 |
| 1,9 | 3,4 | 1,4 | 1,5 | 3,2 | 0,6 |
| 4,3 | 3,7 | 2,6 | 2,9 | 0,6 | 3,0 |
| 4,0 | 3,2 | 1,8 | 1,5 | 2,8 | 0,9 |
| 4,4 | 1,1 | 3,5 | 3,6 | 1,3 | 3,0 |
| 4,3 | 2,9 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 0,9 |
| 4,8 | 4,2 | 2,8 | 2,6 | 1,1 | 3,0 |
| 5,9 | 0,7 | 2,6 | 1,8 | 3,1 | 0,9 |
| 3,8 | 3,2 | 2,6 | 2,5 | 1,0 | 2,4 |
| 3,5 | 3,2 | 2,3 | 1,5 | 2,5 | 1,1 |
| 4,5 | 1,0 | 2,9 | 0,8 | 0,9 | 2,6 |
| 6,7 | 3,1 | 0,7 | 2,5 | 3,1 | 0,9 |
| | 3,1 | 1,4 | 1,8 | | 1,5 |
| | 3,9 | 2,0 | | | 0,5 |
| | 3,2 | 1,9 | | | 4,3 |
| | 3,7 | 2,8 | | | 2,2 |
| | 3,6 | 3,5 | | | 1,4 |
| Mittel: 4,3 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 1,9 | 1,8 |

farblose Region von feinen blauen Streifen in genau diagonalen Richtung durchkreuzt wird, ist ein Anzeichen für den rhombendodekaedrisch gerichteten Wachstumsvorgang in den farblosen Zonen. Die farblose Außenhülle der Kristalle aber ist hexaedrisch gewachsen.

Die Farbstreifen enden nicht immer frei in die farblosen Regionen. In vielen Fällen ist die Grenze dieser Gebiete mit einer 2—3 μ breiten blauen Linie markiert, die aber oft gegen die Mitte des Kristalles wieder verschwindet (vgl. Abb. 3).

Wie aus den Abb. 3, 4 und 13 deutlich zu ersehen ist, sind in den Gebieten der hexaedrischen Streifungen nur stellenweise blaue oder weiße Schichten vorhanden, die den ganzen Kristall ohne Unterbrechung durchsetzen. Stärkere, plötzlich einsetzende Intensitätswechsel zeigt besonders Abb. 4 oben, wobei farblose Schichten auch plötzlich eine mäßige Färbung annehmen und die Wechselagerungen mit einem neuen Rhythmus ansetzen, der eine Strecke lang anhält, um sich dann abermals zu verändern. Dabei ist eigenartig, daß sich an übereinanderliegenden Schichten der Beginn des Wechsels zu einer Grenzlinie zusammenschließt, die kristallographisch nicht genau orientiert ist, sondern um die (auch mögliche) Hexaedernormale bis zu etwa 15° pendeln kann. Die dadurch bestimmten farbigen oder farblosen „Blöcke“ haben Kantenlängen von einigen Zehntelsmillimetern bis herunter zur Größe der μ . Es wird später im Zusammen-

tät der Färbung nach den Ecken zu oft ab, wie es die Abb. 10 bei HABERLANDT und SCHIENER und eigene Beobachtungen erweisen. An den Kristallbruchstücken des Wölsendorfer „Stinkspats“ sind die farblosen Diagonalregionen wie an den Epprechtsteiner Kristallen recht häufig zu beobachten. Bei diesen letzteren ist noch zu bemerken, daß die hexaedrischen Streifen oft vor ihrem Einmünden in die farblose Region auf eine kurze Strecke in die dodekaedrische Orientierung umbiegen. Dies und die Tatsache, daß, wenn auch selten, die

hang mit anderen Feststellungen nochmals über diese eigenartigen Grenzen Näheres ausgeführt.

Außer den hexaedrischen Wechselschichten zeigen zumal die Kristalle von Epprechtstein, weniger deutlich die von Wölsendorf, ein zu den Streifen ungefähr senkrecht gestelltes System von linienartigen Blaufärbungen, die als „Stäbchen“ und „Wedel“ bezeichnet werden mögen. Sie wurden schon früher beobachtet [2, 8] und als „Fasern“ bezeichnet. Von den ersteren gibt die Abb. 5 eine Vorstellung. Man sieht dort eine ziemlich unsymmetrisch gelegene farblose Region, den inneren Teil eines hexaedrischen Streifensystems, das von den Stäbchen gekreuzt wird, und endlich eine Außenregion, in der die Stäbchen allein, fast ohne Streifen, vorhanden sind, ein Hinweis, daß die beiden Farbsysteme bezüglich ihrer Entstehung voneinander unabhängig sind. Die Stäbcheneinheiten bestehen aus etwas verwaschenen linienhaften Gebilden, oft von einer Hülle weniger kräftig gefärbter Substanz umgeben. Sie variieren in ihrer Farbstärke und Richtung, die auch wie die besprochenen Farbgrößen bis etwa 15° von den Hexaedernormalen abweichen kann. Teils einzeln, teils auch gebündelt vorkommend sind, sie jedenfalls niemals so scharf begrenzt wie die Streifen des hexaedrischen Systems, d. h. sie sind nicht so streng wie jene an die Gitterstruktur des Fluorits gebunden.

Die in den blauen Kernen der Epprechtsteiner Kristalle vorkommenden Stäbchen sind im wesentlichen nicht dem Farbwechsel der hexaedrischen Schichten unterworfen. Die Stäbchen dagegen, die sich in den bei Epprechtsteiner Kristallen selten vorkommenden Wechselschichten randlicher Kristallteile finden und häufig in den randlichen Schichten der Wölsendorfer Kristalle, geben sich nur in schmal gestalteten Farbvertiefungen der blauen Schichten zu erkennen, ohne die farblosen Schichten zu betreffen (Abb. 5a). Die ungefähr senkrecht orientierte Aufreihung dieser vertieft und wohl auch meist etwas verbreitert gefärbten Farbstellen läßt sie als zusammengehörig und als den Kristall durchsetzende Stäbchen charakterisieren.

Komplizierter sind die „Wedel“ gebaut (Abb. 3 und 6). Von einer längeren oder kürzeren Art „Gratlinie“ zweigen unter einem Winkel von etwa $10-15^\circ$ zahlreiche seitliche Fiederäste ab. Diese erscheinen teils als feine unter sich parallel verlaufende Linien, teils verfließen sie auch ineinander. Mit den Verzweigungsspitzen sind sie immer gegen die Außenfläche des Kristalles gerichtet.



Abb. 5. Eben solche Kernecke. Unsymmetrische Lage der farblosen Diagonalregion. Aus der Wechselschicht austretende „Stäbchen“, die in der farblosen Außenschicht selbständig existieren. Vergr. 27fach.

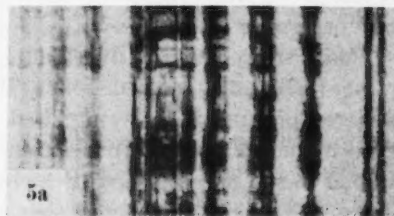


Abb. 5a. Hexaedrische Wechselschichten, in denen Stäbchen die farblosen Schichten nicht farbig durchkreuzen. Vergr. etwa 135fach.

Sie wiederholen sich oft mehrmals längs einer Gratlinie und diese wie die Fiederäste sind durchgehend blau gefärbt. Der Unterschied zwischen Fiederast und Gratlinie ist nicht scharf ausgeprägt. Ein Fiederast kann durch Umbiegen in die Richtung der Gratlinie selbst wieder zu einer solchen werden und seitliche Fiederäste ansetzen (Abb. 6). Da die Wedel den Farbwechsel der hexaedrischen Schichten nicht mitmachen, erweisen sie damit ihre von den Schichten unabhängige Natur. Die Wedelfärbung ist noch aktiver als die der Stäbchen, da sie immer als ununterbrochener Farbstrang auftritt. Sie muß durch einen

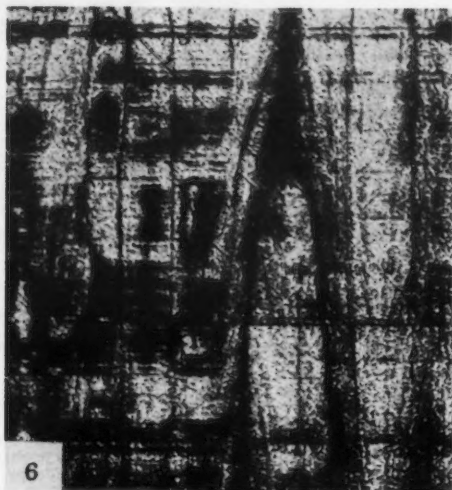


Abb. 6. Typischer Wedel mit Gabelung, d. h. Umwandlung eines Grates in einen Fiederast. Vergr. 135fach.

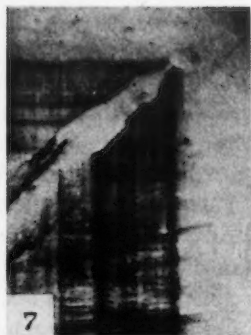


Abb. 7. Austritt von Wedelteilen aus der Schichtenregion in die farblose Umhüllungsschicht. Beweis der Unabhängigkeit der Wedel von den Farbschichten. Vergr. 72fach. Kristall vom Epprechtstein.

besonderen, aber nicht an allen Stellen in gleicher Art wirksamen Umstand hervorgerufen worden sein.

Manchmal besitzen die Wedel eine mehr violette Färbung gegenüber dem reinen Blau der hexaedrischen Schichten. Doch besagt das im Sinne einer anderen Bildungsweise wenig, da bei den Wölsendorfer Kristallen auch oft violette und blaue Schichten abwechseln. Die Wedel sind im wesentlichen auf das Gebiet der hexaedrischen Schichten beschränkt und enden nach außen mit diesem. Vereinzelt kommen aber auch selbstständige Fortsetzungen in die farblose Außenschicht der Kristalle vor. So überschreitet in Abb. 7 ein schief gelagerter Fiederast mit gleichbleibender Richtung die äußerste Streifengrenze und erweist sich damit von dem Schichtsystem unabhängig.

Die Bilder von quer zu Stäbchen- und Wedelsystemen ausgeführten Schlifften (vgl. Abb. 8—10) zeigen sehr mannigfaltige Granulationsstrukturen. Auf Abb. 8 findet man Stellen, die mit ihren konzentrischen Ringen an Drehsymmetrie erinnern und den Querschnitten von Wedeln mit Fiederstruktur entsprechen dürften. Die netzartig verknüpften, stark gefärbten Stränge der Abb. 9 mit wenig gefärbten Zwischenfeldern ergeben im senkrechten Schnitt die Anordnung der Stäbchen. Überdies werden, wenn auch selten, Vorkommen gefunden, die

aus isolierten stäbchenförmigen Gebilden bestehen und in der Bildebene punktförmig erscheinen (Abb. 10). Sie erinnern an ähnliche Bündelungen blauer Linien, wie sie früher an Kristallen des Lehestenberges gefunden wurden [8].

Man muß wohl annehmen, daß die hexaedrischen Schichten und Wedel zu gleicher Zeit entstanden sind, wenn auch durch unabhängige Vorgänge. Daher können sich beide einfach kreuzen, wie das in Abb. 3 und auch sonst der Fall ist. In anderen Fällen sind aber auch gegenseitige Beeinflussungen zu erkennen.

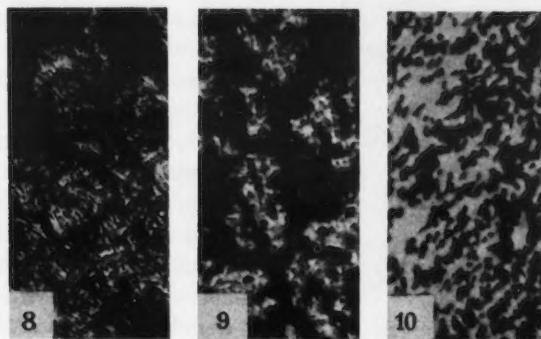


Abb. 8—10. Schliffe senkrecht zu Wedeln und Stäbchen. Abb. 8 entspricht einem Wedel mit Fiederästen, Abb. 9 ergibt im senkrechten Schnitt Stäbchen, Abb. 10 zeigt isolierte Stäbchen Vergr. etwa 150fach. Kristall vom Epprechtstein.

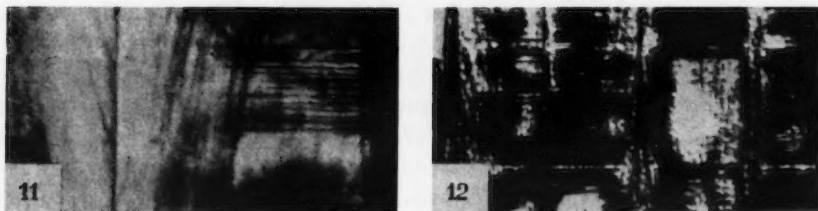


Abb. 11. Grenzgebiet eines Wedels mit der hexaedrischen Wechselschichtung, die den Wedel nicht durchzieht. Die feinen Blauschichten zeigen wie die von Abb. 2 eine feine Wellung. Vergr. 325fach. Kristall von Epprechtstein.

Abb. 12. Zwischen schmalen Wedeln zu dunklen Gebieten zusammengezogene Feinschichtung, zum Teil mit farblosen Innenräumen. Vergr. 325fach.

Im Gebiet der kräftigen Wedel der Abb. 6 ist die hexaedrische Streifung, wenn auch nicht vollkommen verhindert, so doch schwächer und undeutlicher geworden. Abb. 11 und andere zeigen deutlich, wie die Streifung kurz vor der Berührung mit den Fiedern oder Wedelgraten verschwindet und so auf kleinere Inseln beschränkt bleibt, was dann öfters zu eigenartigen Durchdringungsstrukturen führt, wie sie in Abb. 12 vorliegen. Dort sind in ziemlich gleichen Abständen schmale Wedel zu finden, die angenähert senkrecht auf der Streifung stehen. Nur selten geht ein heller Streifen durch einen oder mehrere Wedel hindurch, meist hört die Streifung wieder vor der Berührung mit dem Wedel auf, wodurch wie bei Abb. 12 und 6 wieder Inseln entstehen. Diese sind im Inneren farblos, so daß der aus blauen Feinstreifen bestehende Anteil öfters ringförmige Gestalt annimmt (Abb. 13). Dieser aus parallelen Streifenstücken bestehende Ring erinnert an echte α -Strahlenhöfe, mit denen er aber außer einer

zufällig möglichen gleichen Größenordnung nichts gemeinsam hat. Die photographische Trennung der Feinstreifen ist in den Abb. 12 und 13 nicht gut gelungen, so daß die von ihr eingenommenen Flächen gleichmäßig dunkel erscheinen. Die hellen Innenräume sind wahrscheinlich durch die streifenauslöschende Wirkung benachbarter über oder unter der Bildebene befindlichen Wedel bedingt. Es

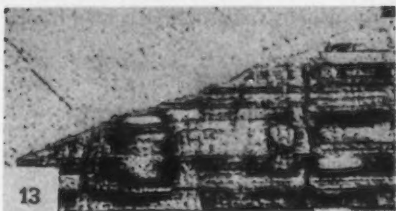


Abb. 13. Ringförmige Anordnung kleiner Streifenanteile zu „Pseudohöfen“. Vergr. 135fach.

hat keinen Sinn, die zahlreichen Einzelfälle zu beschreiben, die sich aus der mehr oder weniger komplizierten Durchdringung von Streifen und Wedeln ergeben; nur auf eines sei aufmerksam gemacht: Wenn die Wedel, was bei ihrer wechselhaften Ausbildung möglich ist, linienhaft dünn ausgebildet sind, dann können sie jene unkristallographischen Blockgrenzen verursachen, von denen auf S. 258 die Rede war.

Übergangstyp: Die Wedel sind hier schon ziemlich ausgebildet und begrenzen kleine Stapel hexaedrischer Streifen, deren Rhythmus zu beiden Seiten der Wedel verschieden ist; man braucht den Wedel nur noch einigermaßen dünner anzunehmen, um zu den Verhältnissen der Abb. 4 zu kommen.

Bevor eine Deutung der beschriebenen Erscheinungen versucht werden soll, möge ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß für die Bildung der Stäbchen und Wedel eine Einwirkung von außen auf den Kristall bzw. sein Inneres, etwa

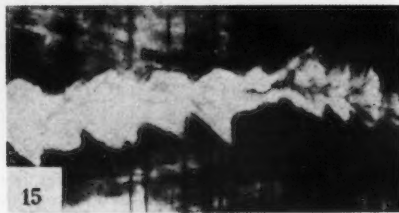


Abb. 14 u. 15. Mit farblosem Fluorit ausgeheilte Spalten. Ränder vermutlich durch oktaedrische Spaltung zackig gestaltet und durch Lösungsvorgänge teilweise wieder abgerundet. Die Spalten durchsetzen Wechschichten und Wedel. Vergr. 80 und 325fach. Kristall vom Epprechtstein.

auf dem Wege von Spalten, nicht in Frage kommt. Da die Gebilde ja alle räumlich sind, müßte es sich um ein ganzes Raumsystem von Spalten handeln, dessen Existenz äußerst unwahrscheinlich wäre. Andererseits finden sich auch tatsächlich Spalten, die aber ein total anderes Verhalten als Stäbchen und Wedel zeigen. Abb. 14 und 15 veranschaulichen analoge Spaltenausbildungen von 2 verschiedenen Kristallen: Ein schmaler Streifen von farblosem Fluorit durchsetzt hexaedrische Wechselstreifung und kräftige Wedel. Die Grenze des Spaltes ist mit einer feinen blauen Linie von μ -Dicke markiert, besonders deutlich bei Abb. 14; die Grenze selbst wird durch einen Zickzack von kleinen Strecken hexaedrischer Orientierung und oktaedrischer Spaltflächen gebildet. Eine feine blaue Linie durchzieht ungefähr in der Mitte den farblosen Einschluß, wahrscheinlich als Endphase der Ausheilung. Es scheint also, daß nur für den Beginn und das Ende der Ausheilung des Spaltes die Bedingung für eine kurzdauernde

Verfärbung gegeben war. Charakteristisch ist ferner, daß die engsten Stellen des Spaltes mit besonders kräftig gefärbten Schichten aus dem hexaedrischen System zusammenfallen, wodurch das ganze Gebilde eine Art von Pseudosymmetrie erhält. Jedenfalls passen die Spaltränder nicht wie Positiv und Negativ aufeinander, wie es bei einer einfachen Sprungbildung zu erwarten wäre. Es müssen auch noch Lösungsvorgänge bei Entstehung dieser eigenartigen Sachlage mitgewirkt haben, wofür auch eine gewisse Abrundung der Spaltränder auf Abb. 15 zu sprechen scheint.

Für die Natur der Wedel ist endlich noch folgende Erscheinung von Interesse. Auf Abb. 16 wird im linken Teile eine Serie hexaedrischer Schichten von kräftigen, wenn auch etwas verschwommenen Wedeln gekreuzt. Unter diesen ist besonders ein starker, nach rechts oben gerichteter Fiederast zu bemerken, der mit gleichbleibender Schrägheit aus dem gefärbten Zustand in den ungefärbten wechselt. Man muß daher schließen, daß das, was die Entstehung eines Wedels bedingt, sowohl färben als auch eine Färbung verhindern kann.

Zusammenfassend kann von der Farbverteilung an den bisher betrachteten Fluoritkristallen gesagt werden: Zwei Farbsysteme sind an ihr beteiligt, ein strukturgebundenes hexaedrisches und ein nicht streng orientiertes, nur annähernd dazu senkrecht gestelltes. Die Frage liegt nahe, ob bei anderem als hexaedrischem Wachstum analoge Erscheinungen auftreten. Diese Frage ist für oktaedrisches und dodekaedrisches Wachstum zu bejahen. Es gibt Kristalle mit oktaedrisch gestellten Wechselschichten, die von ganz ähnlichen Wedelsystemen wie die beschriebenen durchzogen werden. Auch die rhombendodekaedrischen Wechselschichten (Abb. 1) enthalten Andeutungen von Wedeln. Nur an den in der Nähe mancher Hexaederecken in kleinen Bereichen auftretenden (311) Wechselschichten sind sie nicht mit Sicherheit nachzuweisen. Die Entstehung der Wedel scheint daher nur eine orientiert wachsende Ebene vorzusetzen.

Deutungen und Folgerungen.

Da die von K. PRZIBRAM [6a] aufgestellten 3 Kennzeichen von radioaktiv bedingter Färbung für Fluorit zutreffen und chemisch-analytisch auch in den stärksten gefärbten Fluoritkristallen stark absorbierende Ionen nicht nachgewiesen werden können, wird die Fluoritfärbung als radioaktiv bedingt angenommen [6a] und [6b].

In den radioaktiven Höfen ist es sicher die α -Strahlung kleiner radioaktiver Mineralkörner, die die Verfärbung in den Ringen bewirkt¹. Auch die Entstehung von Schichtfärbungen könnte auf α -Strahlung zurückgeführt werden, wenn man eine Farbschicht als Summierungswirkung von solchen α -Teilchen annähme, müßte aber dann an den Rändern verfärbter Gebiete Farbabstufungen von

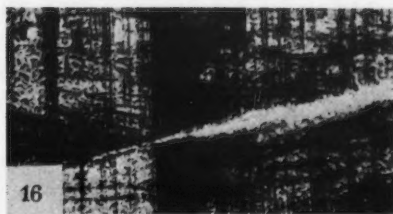


Abb. 16. Ungefärbte Fortsetzung eines gefärbten Fiederastes in eine durch Wechselschichtung und Wedel stark gefärbte Region eines Kristalls vom Epprechtstein. Vergr. etwa 105fach.

¹ Herr Prof. Dr. F. G. HOUTERMANS hatte die Liebenswürdigkeit, einige Präparate von der Art der Abb. 1 mit Kernplatten zu prüfen. Das Ergebnis bestätigte, daß nicht Reihen von α -strahlenden Teilchen vorhanden waren, auf die man die Schichtfärbung hätte beziehen können.

denselben Dimensionen wie die der Reichweiten in den Höfen feststellen können, was nach den mitgeteilten Abstandsmessungen nicht der Fall ist. Auch die α -Strahlung des in Fluoritkristallen diadoch eingebauten Urans, dessen Konzentration dieselbe wie die der Erdkruste ist (PRZIBRAM [6b]), kommt für die Schichtenfärbung nicht in Frage, da die Abgabe von 7 Elektronen je U-Ion nicht zur Erzeugung einer sichtbaren Färbung ausreicht. So bleibt für die Färbung von Schichten in Fluoritkristallen hauptsächlich nur die von außen kommende β - und γ -Strahlung der Umgebung oder der Mutterlauge übrig. Für eine solche spricht auch folgender Befund: An einem größeren Handstück eines Aggregates fast farbloser Fluoritkristalle von Wölsendorf findet sich // zu einer durch Verwitterungsprodukte (Eisenhydroxyd) als Kluftfläche gekennzeichneten Oberfläche eine etwa 2 mm starke Schicht, in der zahllose hexaedrisch orientierte feine Blauschichten vorhanden sind. Eine Einwirkung radioaktiver Wässer von der Kluftfläche her anzunehmen, liegt hier sehr nahe (vgl. O. HAHN und H. J. BORN [3]).

Die Tatsache, daß in den natürlichen Fluoriten gefärbte und ungefärbte Anteile in dünnen und zahlreichen Schichten abwechselnd nebeneinander vorkommen, setzt grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Fluoritgitter voraus: eine durch Strahlung verfärbbare, sensibilisierte und eine nicht verfärbbare, gegen Strahlung indifferente. Die letztere ist auch gegen hohe Dosen von Röntgenstrahlen unempfindlich. Röntgenographisch ist zwischen tiefblauen und farblosen Kristallteilen kein Unterschied zu erkennen, wie zwei von Herrn Prof. W. BORCHERT freundlichst veranlaßte Laue-Aufnahmen bewiesen. Es kann sich also nur um sehr kleine Verschiedenheiten handeln, die aber letzten Endes doch in einer stofflichen Verschiedenheit der Zahl, Art und Verteilung der Farbzentren bedingenden Fremdionen oder kolloiden Teilchen mit empfindlichen Außenregionen begründet sein muß, wenn sie auch mit der Röntgenmethode nicht lokalisiert werden können. Kommen in einem Kristall derartige Verschiedenheiten des einen Gitters vom anderen nur selten und beim Wachstum nur kurzdauernd vor, so entstehen vereinzelte blaue Schichten zwischen größeren ungefärbten Bereichen. Durch alle möglichen Übergänge in der Häufigkeit kann sich die Wiederholung der stofflich etwas verschiedenen Schichten bis zur Ausbildung der feinsten Wechselschichten steigern, bei den Wölsendorfer Kristallen am Ende, bei den Epprechtsteiner Vorkommen am Anfang der Bildungsphase. Beim Wachstum der Kristalle scheint die sensibilisierte Schicht immer mehr einen episodischen Charakter zu haben, da nach den bisherigen Erfahrungen die Summe der Schichtdicken farbiger Kristallteile stets kleiner als die Summe der ungefärbten Anteile ist. Ein augenscheinlicher Beweis für die Existenz der beiden Arten von Empfindlichkeit der Fluoritstruktur gegen radioaktive Strahlung liegt in der perlschnurartigen Auflösung mancher radioaktiv entstandenen Ringe in den Höfen vor. Nur an den Stellen, die mit den gefärbten Schichten außerhalb der Ringe korrespondieren, bringen dieselben α -Strahlen eine Blaufärbung hervor, die unmittelbar daneben unwirksam bleiben, eine Erscheinung, auf die schon A. SCHILLING [7] aufmerksam gemacht hat und die jetzt wieder bestätigt werden konnte (Abb. 17)¹.

¹ Die Kontinuität mancher Ringe in den von A. SCHILLING abgebildeten Höfen scheint der hier vertretenen Auffassung zu widersprechen. Wenn man aber die SCHILLINGschen Bilder genau durchsieht, so muß man zu der Annahme kommen, daß die Ringe eigentlich alle aus

Bei den durch α -Strahlen erzeugten Höfen sind Verfärbung und Abstände durch ein und denselben α -radioaktiven Zerfallsprozeß hervorgebracht. Bei den farbigen Schichten ist der nachträgliche Färbungsvorgang von dem, der Abstände und Dicken bestimmt, zu trennen. Der letztere ist durch die beim Wachstum der Kristalle herrschenden Umstände bedingt. Und da diese von den wechselnden Außenbedingungen wie Temperatur und Materialzustrom abhängig sind, so kann es hier weder für die Schichtdicke noch für deren Abstand von der nächsten gleichartigen Schicht bestimmte Dimensionswerte geben. Bemerkenswert ist, daß nicht an Stelle der Wechselschichten eine homogen und dilut gefärbte dickere Schicht auftritt; man muß eine rhythmisch wechselnde Zusammensetzung der Mutterlauge voraussetzen. Die Wechselschichten ergeben auch gewisse Folgerungen für die Symmetrie der Fluoritkristalle. Das Ergebnis einer hexaedrischen Substanzanlage ist die kubische Fluoritstruktur der bekannten Art. Faßt man nun alle nacheinander durchlaufenen Zustände des Wachstums an einem realen Kristall für ein und dieselbe Hexaederfläche zusammen, so erhält man als Ausschnitt aus der Struktur eine „Anwachspyramide“ im Sinn FR. BECKES [1], deren Basis eine (wachsende) Hexaederfläche ist und deren Spitze im Kristallzentrum liegt. Sechs derartige Teilstücke schließen sich lückenlos zu der jeweiligen kubischen Struktur eines ideal reinen Kristalles zusammen. Eine einzelne Anwachspyramide ist in jener durch nichts besonders gekennzeichnet enthalten. Ihr Aufbau ist ein Teil des kubischen Gitters, ihre von einer hexaedrischen und 4 dodekaedrischen Flächen gebildete Gestalt ist jedoch tetragonal von der Symmetrie C_4 mit $a:c=1:1$. Bemerkbar wird eine solche Anwachspyramide erst dann, wenn ihre Basisfläche physikalisch anders geartet ist als die mit ihr gleichwertigen senkrechten Strukturebenen, die morphologisch Prismenflächen entsprechen. Das kann, wie BECKE schon 1890 fand, über den Umweg der Ätzfiguren erkannt werden. Bei den hier untersuchten Fluoritkristallen geschieht es durch die Färbung, da nur die Basishexaederfläche Farbträger ist, aber nicht auch die erwähnten zu ihr senkrechten Ebenen. Das ist verständlich, weil nur jene Basisebene der Pyramide im dauernden Wachstumsgleichgewicht mit der Nährlösung steht und somit unter ganz anderen Bedingungen als jene Prismenebenen, die nur vorübergehend, gewissermaßen nur „linear“ mit der Lösung in Berührung kommen können. Diese Verschiedenheit verleiht der Anwachspyramide auch eine physikalisch tetragonale Symmetrie, obwohl ihr kubisches Gitter bestehen bleibt. In einem realen Fluoritkristall von hexaedrischem Wachstum sind also eigentlich 2 Symmetrieprinzipien enthalten: einmal das normale kubische, das alle Anteile, gefärbte wie ungefärbte, in gleicher Weise betrifft, und ein 2., das durch die Verteilung der gefärbten Perlen zusammengesetzt sind und nur die manchmal außerordentlich feine Wechselstruktur die Kontinuität vortäuscht.

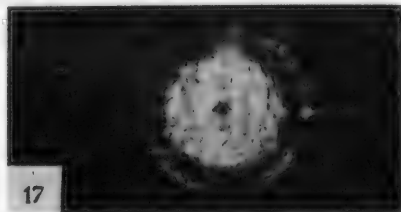


Abb. 17. Radioaktiver Hof aus Wölsendorfer Stinkspat. Ein innerer Ring besteht aus abwechselnd dunklen und ungefärbten Anteilen, die mit den hexaedrischen Wechselschichten der Umgebung korrespondieren. Beweis dafür, daß in Abhängigkeit der Fluoritbeschaffenheit dieselbe Strahlung verfärben oder unwirksam bleiben kann. Vergr. 325fach.

Anteile in den ungefärbten Zustände kommt und allerdings nicht durch einen homogenen, sondern schichtenartigen Bau charakterisiert ist. Analoge Betrachtungen können für die Anwachspyramiden bei oktaedrischem oder dodekaedrischem Wachstum aufgestellt werden, wobei sinngemäß sich trigonale oder rhombische physikalische Symmetrien ergäben. Konsequenterweise müßte man einen Wedel enthaltenden Kristall als physikalisch asymmetrisch bezeichnen.

Im engen Zusammenhang mit den Anwachspyramiden stehen die farblosen Diagonalregionen der Fluoritkristalle. Morphologisch gesehen ersetzen sie die dodekaedrischen Flächen der Anwachspyramiden durch unregelmäßig gestaltete Räume, die nur Spuren von Blaufärbung enthalten. Der Normalzustand, der bei Wölsendorfer Kristallen auch oft gefunden wird, wäre der, daß 2 isolierte Streifen aber auch Streifensysteme, in einer zur Bildebene senkrechten Hexaederkante zusammenstoßen. Bei den Epprechtsteiner Kristallen ist das aber so gut wie nie der Fall, sondern immer ist in der Nähe des theoretischen Zusammenstoßes das Ausfallen der Färbung bei gleichzeitig dodekaedrischem Wachstum festzustellen. Man kann das durch folgende Betrachtung plausibel machen: würde die farblose Diagonalregion an einer beliebigen Stelle inmitten der wachsenden Hexaederfläche ansetzen, so würde das bedeuten, daß eine plötzlich entstehende neue Wachstumsbedingung längs einer gewissen Strecke die sonst dieser Fläche zukommende Wachstumsbedingung unterbrechen würde, was sehr unwahrscheinlich, wenn nicht überhaupt unmöglich wäre. Dagegen ist es nicht unmöglich, sogar wahrscheinlich, daß dort, wo 2 senkrecht gerichtete und gleiche Bedingungsgruppen wirksam werden, sich eine andersgeartete Zwischenbedingung einschaltet. Eine solche neue Wachstumsrichtung ist hier die einer (110)-Fläche, die energetisch nicht unwahrscheinlich ist und nach STRANSKI [4] zu den intermediären, d. h. bald wieder verschwindenden Flächen gehört. Gestalt und jeweiliger Ort der farblosen Region wird bestimmt von dem Zusammenwirken der zufälligen, von Strömungen bedingten Wachstumsgeschwindigkeiten zweier benachbarter Hexaederebenen. Anscheinend ist das rhombendodekaedrische Wachstum für die Ausbildung sensibilisierter Schichten weniger geeignet als hexaedrisches, da die feine, blaue Diagonalstreifung nur selten zu beobachten ist.

Die streng kristallonomische Orientierung der hexaedrischen Wechselschichten deutet darauf hin, daß es sich hierbei um ein Ergebnis des Wachstumsgleichgewichtes zwischen Kristall und Lösung handelt. Wenn die dazu nötigen Vorbedingungen allein vorhanden wären, müßte der entstehende Kristall nur aus den Wechsellagern farbiger und nicht farbiger Schichten in einer strengen Orientierung bestehen. Tatsächlich wird aber offenbar dieser primäre einfache Vorgang dauernd gestört und kompliziert. Die Ausbildung der hexaedrischen Schichten wird stellenweise verhindert und die Erscheinung der Stäbchen und Wedel hervorgerufen. Nach ihrem ganzen Gebaren können letztere nicht ein Produkt des Wachstums aus einer in jedem Punkte gleichartigen Lösung sein, da sie ortsgebunden nur an einigen bestimmten Stellen im Kristall auftreten. Man kann sich ihre Entstehung nur aus einer Mutterlauge vorstellen, die durch einen Gehalt an ungelösten kolloidalen Teilchen inhomogen geworden ist. Die Rolle dieser Teilchen ist zweifach: erstens behindern sie an manchen Stellen den Zu-

strom von gelöster Substanz, was zu den beobachteten Schwächungen und Aufhebungen der hexaedrischen Streifungen führen muß. Zweitens vermitteln sie nach einem eigenen Formsystem die zur Blaufärbung nötigen Bedingungen, indem sie dauernd, bei den Epprechtsteiner Kristallen und in den sensibilisierten Schichten an den Wölsendorfer Kristallen, weitere sensibilisierende Substanzen an den Kristall abgeben, die sie der Lösung durch Absorption entzogen haben. Da bei einem wachsenden Kristall diese Teilchen mit ihren Wirkungen vor der sich nach außen verlagernden Fläche einhergeschoben werden, liegt es nahe in Stäbchen und Wedeln die Laufspuren solcher kolloider Teilchen zu sehen. Im Großen und Ganzen müßte eine solche Spur senkrecht zu den sich beim Wachsen verschiebenden Flächen stehen, doch sind seitliche Abweichungen von dieser Richtung durch thermische Konvektionsströmungen in der Lösung sehr wahrscheinlich. Auf Veränderungen in der Zusammensetzung der Kolloidteilchen während ihrer Wanderung könnten die eigenartigen Wechsel in der Färbung der Wedelstränge und Fiedern zurückgeführt werden.

Anmerkung.

Die nächstliegende Erklärung für die Schichtenbildung, gleichgültig ob in grobem oder feinem Wechsel, ist eine wenn auch oft nur minimale Änderung in der Zusammensetzung der den Kristall ernährenden Lösung. Die Frage, warum nicht an Stelle wenigstens der sehr feinen und zahlreichen Wechselschichten eine dilute Färbung auftritt, legt den Gedanken nahe, daß vielleicht noch andere Ursachen für die Bildung von Wechselschichten existieren, die mehr von dem wachsenden Kristall als von der Mutterlösung bedingt sind. Man beobachtet Wechselschichten außer am Fluorit auch an anderen löslichen Salzen, so am Chlornatrium (PRZIBRAM [6c]), an den wenig löslichen Mineralien Quarz, Amethystschichten, Smaragd, Korund, Zirkon, die alle feine Schichten von allerdings etwas größerer Dicke als Fluorit zeigen. Mikrophotographien davon findet man bei MICHEL [5], Künstliche Edelsteine, in den Abb. 14, 18 und 21. Dabei handelt es sich bei diesen Vorkommen um den Wechsel zweier Schichten, die bei sonstiger Identität sich durch sehr verschiedene Farbintensität unterscheiden. Also auch hier keine mittlere homogene Konzentration des färbenden Prinzips, sondern die höhere Farbstoffkonzentration erschöpft sich rasch zugunsten der geringeren.

Wichtiger sind vielleicht die Vorkommen von Wechselschichten an künstlichen Kristallen, die sicherlich ohne Mithilfe einer Lösungsphase hergestellt wurden. z. B. am künstlichen Korund (vgl. MICHEL Abb. 26 und 28) oder am Carborund (eigenes Präparat aus dem Elektroschmelzwerk Kempten), da man hierbei sicher ist, daß das in Form von Staub oder bei SiC sogar in Form von Dampf (Sublimation) dargebotene Kristallisationsgut eigentlich dilut gefärbte Kristalle hervorbringen müßte. Das kommt ja auch vielfach vor. Aber manchmal scheint im Wirkungsbereich des wachsenden Kristalles eine Aufteilung in 2 etwas verschiedene Schichten stattzufinden.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei auch an dieser Stelle für die Überlassung eines Forschungsmikroskopes der Firma Leitz, Wetzlar, bestens gedankt.

Literatur.

- [1] BECKE, FR.: Ätzversuche am Fluorit. *Tschem. Mineral. u. Petrogr. Mitt.* Bd. 11, (1890). S. 349 — [2] HABERLANDT, H., u. A. SCHIENER: Über Farbverteilungen beim Fluorit und ihren Zusammenhang mit dem Kristallbau. *Z. Kristallogr.*, Bd. 90 (1935) 193. — [3] HAHN, O., u. H. J. BORN: Das Vorkommen von Radium in nord- und mitteldeutschen Tiefenwässern. *Naturwiss.* Bd. 23 (1935) S. 739. — [4] KNACKE, O., u. J. N. STRANSKI: Die Theorie des Kristallwachstums. *Ergebn. exakt. Naturwiss.* (1952) S. 362. — [5] MICHEL, H.: Künstliche Edelsteine. Leipzig: Diebener 1914. — [6] PRZIBRAM, K.: (a) Die Bestrahlungsfarben in der Natur. *Geochim. et Cosmochim. Acta* Bd. I (1951) S. 299. — (b) Über die Färbungen des Fluorits. *Tschem. Mineral. u. Petrogr. Mitt.* III. F. Bd. 3 (1952) S. 21. — (c) Verfärbung und Lumineszenz durch Becquerelstrahlen. IV. *Z. Physik* Bd. 102 (1936) S. 339. — Ebenso in „Verfärbung und Lumineszenz“. Wien: Springer 1953. — [7] SCHILLING, A.: Die radioaktiven Höfe im Flußpat von Wölsendorf. *Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., Beil.-Bd. Abt. A* Bd. 53 (1926) S. 241. — [8] STEINMETZ, H.: Über Fluoritfärbungen. *Z. Kristallogr.* Bd. 61 (1925) S. 388.

Prof. Dr. HERMANN STEINMETZ, München 13, Jakob-Klar-Str. 7 IV.

Zur Bestimmung einer definierten mittleren Lichtbrechung optisch einachsiger Minerale im Dünnschliff.

Von

RUDOLF MOSEBACH.

Mit 9 Textabbildungen.

(Eingegangen am 12. Januar 1954.)

| I n h a l t. | Seite |
|--|-------|
| A. Allgemeines zum optischen Verhalten einachsiger Minerale im Dünnschliff | 269 |
| B. Ableitung einer mittleren Lichtbrechung | 270 |
| I. Zur Planparallelität von Dünnschliffen | 270 |
| II. Definitionen einer mittleren Lichtbrechung | 271 |
| III. Gleichung der Gangunterschiedskurve in der Kreisschnittebene optisch Ein- achsiger | 272 |
| 1. Das Halbkugelsegmentpaar mittlerer Lichtbrechung | 272 |
| 2. Die definierte Lichtbrechung \bar{n} optisch einachsiger Minerale | 276 |
| a) Methode und Ableitung | 276 |
| b) Graphische Bestimmung von \bar{n} aus Gangunterschiedsmessungen | 278 |
| c) Rechnerische Bestimmung von \bar{n} aus Gangunterschiedsmessungen | 280 |
| 3. Übertragung auf optisch zweiachsige Minerale mit kleinem Achsenwinkel | 281 |
| IV. Meßbeispiele | 281 |
| 1. Graphische Auswertung | 281 |
| 2. Rechnerische Auswertung | 282 |
| a) Quarz | 283 |
| b) Korund | 283 |
| c) Zirkon | 283 |
| d) Turmalin | 283 |
| e) Eisenorthoklas | 287 |
| Zusammenfassung | 287 |
| Literatur | 287 |

A. Allgemeines zum optischen Verhalten einachsiger Minerale im Dünnschliff.

Betrachtet man den Dünnschliff eines optisch einachsigen Minerals im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Polarisatoren, so verhält sich dieses bei einer Orientierung c parallel der Schliffebene so, als ob ein Ellipsenschnitt durch die Rotationsachse der Indicatrix vorläge. Die eine Halbachse dieser Ellipse entspricht n_w , die andere n_e . Kommen diese bei Drehung des Dünnschliffes auf dem Objektisch mit den Schwingungsrichtungen der Polarisatoren zur Deckung, dann haben wir Auslöschung.

Bildet die Senkrechte zur Dünnschliffebene (Schliffnormale) mit c einen beliebigen Winkel η , dann entspricht das optische Verhalten ebenfalls einer Schnittellipse der Indicatrix, deren eine Halbachse wiederum gleich n_w ist und deren zweite Halbachse aber einem Wert n_e , zwischen n_e und n_w , entspricht. In der Auslöschungsstellung decken sich diese Ellipsenhalbachsen wiederum mit den Polarisator-Schwingungsrichtungen. Untersucht man Dünnschliffe einachsiger Minerale mit dem mehrachsigen Drehtisch mikroskopisch, dann erkennt man die Einachsigkeit der Minerale u. a. daran, daß alle Schliffe in Auslöschungsstellung die Dunkelheit bei Neigung um die Kontrollachse A^1 bei normaler Aufstellung des Drehtisches bewahren, sobald ein Hauptschnitt (Schwingungsrichtung der außerordentlichen Welle) parallel der Schwingungsrichtung des Polarisators liegt. Dabei wird die Schwingungsrichtung des Polarisators wie üblich parallel dem vertikalen Fadenkreuzfaden angenommen.

Bei Einstellung der zweiten Auslöschungslage (n_{ω} parallel der Schwingungsrichtung des Polarisators) bleibt die Dunkelheit nur erhalten, wenn c der Schlieffläche auch parallel orientiert ist, d. h. der Kreisschnitt der Indicatrix senkrecht auf der Schliffebene steht. Bildet dagegen die Schliffnormale einen Winkel η mit c , dann hellt der Schliff bei Neigung um A^4 auf. Bleibende Dunkelheit kann nur erreicht werden, wenn durch Kippung um A^2 der vorher um $(90^\circ - \eta)$ zur Schliffebene stehende Kreisschnitt senkrecht in Tubusrichtung eingestellt wird.

Liegt Orientierung c parallel der Schliffebene vor oder ist durch Betätigung von A^2 der Kreisschnitt senkrecht zur Schliffebene eingestellt, dann bleibt die Dunkelheit bei jeder Neigung um A^4 erhalten. Geht man in einer solchen Stellung des Mineralschliffes in die Diagonalstellung über, so sind bei Benutzung eines Drehkompensators die Gangunterschiede Γ meßbar, die für jede Einstellung i der Drehachse A^4 auftreten. Gewöhnlich sind solche Messungen von $i = 0^\circ$ bis $i = 45^\circ$ möglich, in vielen Fällen bis $50, 55^\circ$ und mehr. Mißt man die in der Kreisschnittebene des Dünnschliffes eines einachsigen Minerals auftretenden Gangunterschiede $i = 0-55^\circ$ etwa in Intervallen von 5° und zeichnet die Gangunterschiede als Funktion von i auf, so erhält man eine charakteristische Γ -Kurve, mit deren Hilfe man zur Bestimmung einer definierten mittleren Lichtbrechung \bar{n} des Minerals gelangt, die rein auf Γ -Messungen beruht ohne Kenntnis der Schliffdicke d . Mit diesen Vorzügen ist noch der Vorteil verbunden, daß die mittlere Lichtbrechung auch höher brechender einachsiger Minerale, z. B. Korund, Zirkon oder ähnliches, bestimmt werden kann, wo die Immersionsmethode und das Totalrefraktometer versagen und auch die Prismenmethode bei der Unmöglichkeit, genügend große oder durchsichtige Prismen herzustellen, nicht zum Ziele führen kann.

B. Ableitung einer mittleren Lichtbrechung.

I. Zur Planparallelität von Dünnschliffen.

Es ist wichtig, Brechungsquotientenbestimmungen im Dünnschliff auf Meßgrößen zurückzuführen, die genügend genau meßbar sind. Bei optischen Gangunterschieden ist dies (MOSEBACH 1947, 1949a, b, c) der Fall; sie reichen vielfach allein aus. Auch die Einstellung von Auslöschungslagen ist unter Verwendung von Drehkompensatoren in Nullstellung mit der erforderlichen Genauigkeit durchführbar (MOSEBACH, 1949).

Es sei an einem Beispiel gezeigt, wie wichtig es ist, die Bestimmung der Schliffdicke d umgehen zu können, selbst wenn diese nach BEREK (1924, S. 128) an vorhandenen Mineralen mit bekannter Doppelbrechung annähernd bestimmt werden kann; oder, falls auf die Kenntnis von d nicht völlig verzichtet werden kann, diese erst dann zu benutzen, wenn bereits n_{ω} auf Grund der Γ -Messungen allein ermittelt worden ist. Im Fall der Bestimmung eines definierten mittleren Brechungsquotienten ist dies nicht einmal nötig.

Bei der Anwendung der im folgenden beschriebenen Methode wird Wert darauf gelegt, diese in jedem normalen, ohne besondere Vorsichtsmaßregeln hergestellten Dünnschliff anwenden zu können. Erforderlich ist, daß dieser von der Planparallelität nicht allzusehr abweicht. Bei Gesteinsschliffen ist bekannt, daß die einzelnen Mineralkomponenten eine, durch ihren der verschiedenen Härte entsprechenden ungleichen Schleifwiderstand, verschiedene Dicke besitzen. Weiterhin kann das gesamte Präparat, auch bei Schliffen einzelner Minerale, keilige oder sonst von der Planparallelität abweichende Beschaffenheit besitzen. In Abb. 1 ist der Dünnschliff eines Quarzes parallel c (Nr. 5 aus einer Lehrsammlung

nach RINNE, Nr. IV des Kataloges der Fa. Voigt & Hochgesang, Göttingen) nach seiner Dicke vermessen. Die Gangunterschiede wurden in regelmäßigen Abständen auf der gesamten Fläche des Schliffes gemessen und unter Zugrundelegung der Doppelbrechung des Quarzes für Na-Licht ($\Delta = 0,00911$) auf die Dicke umgerechnet. Die Zeichnung zeigt für verschiedene Stellen des Dünnschliffes ganz verschiedene Dicke, die namentlich in der Nähe der Ränder erheblich variiert. Es ist anzunehmen, daß der Schliff von der Planparallelität in Form einer flachen, bikonvexen, nach der Längsrichtung verlängerten Linse abweicht. Trotzdem sind die Dickendifferenzen in den zentralen Teilen des Schliffes so unerheblich, daß sie sich bei durchgeführten I' -Messungen nicht merkbar auswirken.

Bei schleiftechnisch schwierigem Material, z. B. Korund, können solche Dickendifferenzen jedoch erheblichere Beträge annehmen. Durch eine ebensolche Vermessung an einem Korund-Schliff parallel c wurde ein viel stärkeres tatsächliches Relief nachgewiesen, das sich dann auch bei den I' -Messungen und

deren Auswertung zur \bar{n} -Berechnung merkbar nachteilig auswirkte. Rillen und Grate auf der Schliff-Ober- und -Unterfläche sind durch die I' -Messung deutlich nachweisbar. Solche Eigenschaften können die Meßresultate beeinträchtigen und sogar unbrauchbar machen, können aber durch später geschilderte Probemessungen schnell erkannt werden.

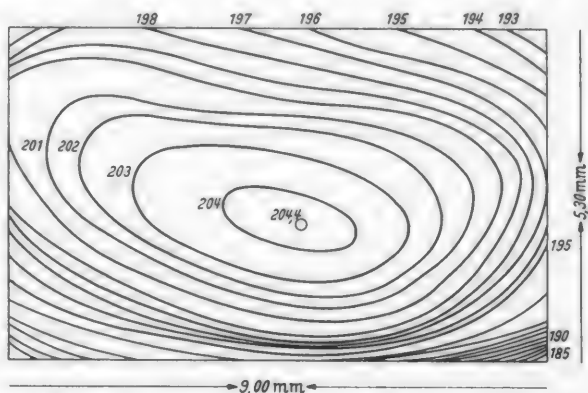


Abb. 1. Dickenverhältnisse eines Quarz-Dünnschliffes parallel c . Die Kurven verbinden Stellen gleichen Gangunterschieds.

II. Definitionen einer mittleren Lichtbrechung \bar{n} .

Als Ausdrücke einer mittleren Lichtbrechung doppelbrechender Medien sind von E. MALLARD (1884) für einachsige Kristalle $n = \frac{2n_o + n_e}{3}$, für zweiachsige $n = \frac{n_\alpha + n_\beta + n_\gamma}{3}$ vorgeschlagen worden, während W. J. POPE (1897) $n = (n_o^2 n_e)^{\frac{1}{3}}$ für erstere, $n = (n_\alpha n_\beta n_\gamma)^{\frac{1}{3}}$ einführte. Diese Definition und Bestimmung einer mittleren Lichtbrechung, die vorwiegend zur Berechnung der Refraktionskonstante doppelbrechender Medien zugrunde gelegt wird, ist erst durchzuführen, wenn die Hauptbrechungsquotienten bekannt sind. Einer direkten Bestimmung sind diese Ausdrücke nicht zugänglich. Die nachstehend beschriebene Meßmethode erlaubt aber eine solche für optisch einachsige Kristalle mit hinreichend genauer Definition ihres Wertes in bezug auf n_o und n_e .

BEREK (1924) bestimmte bereits eine mittlere Lichtbrechung durch I' -Messungen. Diese Methodik wurde von MÉLON (1934) in vorzüglicher Weise erweitert und theoretisch behandelt. Über die Größe dieser mittleren Lichtbrechung

können jedoch nur approximative Angaben gemacht werden. Sie dürfte nach BEREK in der Nähe von $n \sim \frac{n_\alpha + 2n_\beta + n_\gamma}{4}$ liegen.

III. Gleichung der Gangunterschiedskurve in der Kreisschnittebene optisch Einachsiger.

1. Das Halbkugelsegmentpaar mittlerer Lichtbrechung.

Mit Hilfe von Abb. 2 läßt sich das der Gangunterschiedskurve in der Ebene senkrecht c zugrunde liegende Gesetz ableiten. Nach POCKELS (1906, S. 232) ist für diese Orientierung:

$$\Gamma_i = d (n_e \cos i_e - n_w \cos i_w) \quad (1)$$

(Γ gemessen in $m\mu$).

Ferner gilt nach dem SNELLIUSSchen Brechungsgesetz:

$$n_s \sin i = n_w \sin i_w = n_e \sin i_e$$

$$\cos i_w = \frac{1}{n_w} (n_w^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}; \cos i_e = \frac{1}{n_e} (n_e^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\Gamma_i = d [(n_e^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} - (n_w^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}]. \quad (3)$$

Der Gangunterschied ist abhängige Variable der unabhängigen Variablen i ; die Form der Γ -Kurve ist von n_w und n_e des Kristalls, der Dicke d des Dünnschliffes und von n_s des verwendeten Segmentpaares abhängig. Bei $i = 0^\circ$ ergibt sich ein von dem n_s unabhängiger $\Gamma = d (n_e - n_w)$. In Abb. 3—5 sind die Γ -Kurven bei eingemessener Ebene senkrecht c für Quarz, Zirkon und Kalkspat bei Verwendung verschieden lichtbrechender Segmentpaare gezeigt, die genauen Daten für Quarz enthält Tabelle 1. Um die Anwendbarkeit der Methode theoretisch zu zeigen, unabhängig von möglichen Meßfehlern, sind die Gangunterschiedskurven für die genannten Minerale berechnet worden. Errechnet man aus diesen Gangunterschieden die auf die Dünnschliffdicke d reduzierten Gangunterschiede $\Gamma_{\text{red.}}$, indem man zunächst annimmt, daß der Brechungsquotient des Segmentpaares

Tabelle 1. Gangunterschiedskurven von Quarz mit $n_w = 1,54426$, $n_e = 1,55337$ in der Ebene $\perp c$ nach Gleichung (3). Dünnschliff orientiert $\parallel c$, Schliffdicke 200 μ , für Segmentpaare mit verschiedenen n_s , berechnet von $i = 0-60^\circ$ in Intervallen von 5° .

| i | $n_s = 1,6488$ | | $n_s = 1,55337$ | | $n_s = 1,54881$ | | $n_s = 1,54426$ | | $n_s = 1,4876$ | |
|-----|----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|----------------|------------------------|
| | Γ | $\Gamma_{\text{red.}}$ | Γ | $\Gamma_{\text{red.}}$ | Γ | $\Gamma_{\text{red.}}$ | Γ | $\Gamma_{\text{red.}}$ | Γ | $\Gamma_{\text{red.}}$ |
| 0 | 1822,00 | 1822,0 | 1822,00 | 1822,0 | 1822,00 | 1822,00 | 1822,00 | 1822,00 | 1822,00 | 1822,00 |
| 5 | 1829,90 | 1822,9 | 1820,0 | 1822,0 | 1828,96 | 1822,0 | 1828,96 | 1822,0 | 1828,52 | 1821,6 |
| 10 | 1853,94 | 1825,8 | 1850,32 | 1822,2 | 1849,90 | 1821,8 | 1850,00 | 1821,9 | 1847,96 | 1819,9 |
| 15 | 1895,40 | 1830,8 | 1886,64 | 1822,4 | 1886,28 | 1822,0 | 1885,90 | 1821,6 | 1881,16 | 1817,1 |
| 20 | 1956,34 | 1838,4 | 1939,70 | 1822,7 | 1938,94 | 1822,0 | 1938,15 | 1821,3 | 1929,04 | 1812,7 |
| 25 | 2040,20 | 1849,0 | 2011,66 | 1823,2 | 2010,76 | 1822,0 | 2009,06 | 1820,8 | 1993,68 | 1806,8 |
| 30 | 2152,18 | 1863,8 | 2106,02 | 1823,97 | 2103,96 | 1822,1 | 2101,80 | 1820,2 | 2077,28 | 1799,0 |
| 35 | 2300,76 | 1884,7 | 2227,52 | 1824,7 | 2224,26 | 1822,0 | 2221,08 | 1819,4 | 2183,22 | 1788,4 |
| 40 | 2498,60 | 1914,0 | 2383,42 | 1825,8 | 2378,70 | 1822,0 | 2373,54 | 1818,7 | 2316,18 | 1774,3 |
| 45 | 2767,82 | 1957,1 | 2584,34 | 1827,4 | 2576,72 | 1822,0 | 2569,22 | 1816,7 | 2482,38 | 1755,3 |
| 50 | 3148,26 | 2023,7 | 2846,54 | 1829,7 | 2834,56 | 1822,1 | 2823,34 | 1814,8 | 2690,44 | 1729,4 |
| 55 | 3722,84 | 2135,3 | 3195,94 | 1833,1 | 3176,64 | 1822,0 | 3157,84 | 1811,3 | 2951,90 | 1693,1 |
| 60 | 4704,58 | 2352,2 | 3676,90 | 1838,4 | 3644,24 | 1822,1 | 3612,54 | 1806,3 | 3282,96 | 1641,5 |

einer mittleren Brechung des doppelbrechenden Kristalls entspräche, d. h. reduziert man die zu den Winkeln i gehörigen Γ_i mit $\cos i$, so erhält man die in den Abb. 3—5 gezeigten Kurven für die reduzierten Gangunterschiede. Aus diesen ist ersichtlich, daß die Werte für $\Gamma_{\text{red.}}$ von dem Wert $\Gamma_0 = d(n_e - n_o)$ bei wachsendem i abnehmen, wenn das bei der Messung verwendete Segmentpaar einen Brechungsquotienten n_s kleiner als die mittlere Lichtbrechung \bar{n} des Kristalls

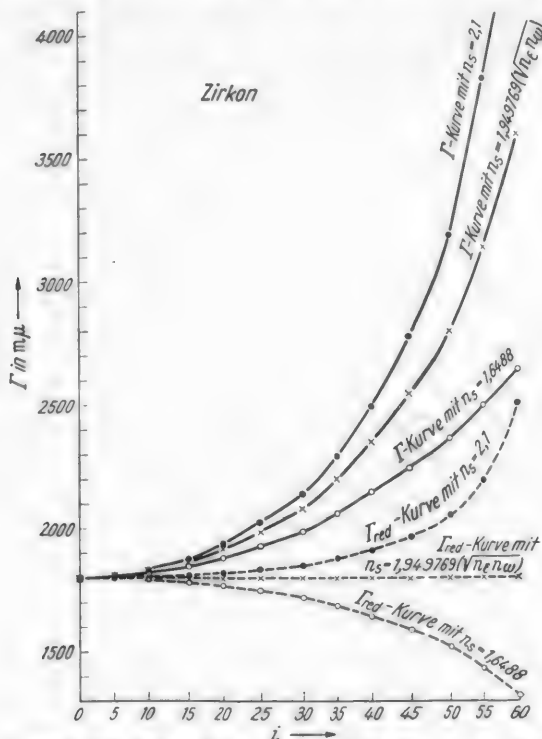


Abb. 4. Berechnete Gangunterschiedskurven für ein 30 μ dickes Zirkonplättchen der Lichtbrechung für Na-Licht $n_o = 1,92$; $n_e = 1,98$ für sphärische Segmente der Lichtbrechung $n_s = 2,1$; 1,949769 [$= (n_e n_o)^{\frac{1}{2}}$] und 1,6488. Orientierung: c liegt in der Plättchenebene. Messung in der Kreisseitenebene. Gestrichelt: $\Gamma_{\text{red.}}$ -Kurven. Auch für die stärkere Doppelbrechung $\Delta = 0,06$ ist die $\Gamma_{\text{red.}}$ -Kurve der Segmente mit $n_s = \bar{n} = (n_e n_o)^{\frac{1}{2}} = 1,949769$ noch durchaus eine Gerade.

besitzt, umgekehrt steigen bei $n > \bar{n}$ die $\Gamma_{\text{red.}}$ -Werte an. Für ein bestimmtes n , jedoch, das zwischen n_o und n_e des doppelbrechenden Kristalls liegt, bleiben die $\Gamma_{\text{red.}}$ -Werte innerhalb des Meßbereiches konstant, und zwar gleich dem Wert $\Gamma_0 = d(n_e - n_o)$. Aus der Forderung, daß die Werte der reduzierten Gangunterschiede für alle eingemessenen Winkel i konstant seien, und zwar $\Gamma_0 = d(n_e - n_o)$, ergibt sich der Ansatz zur Berechnung von diesem n_s .

$$\Gamma_{\text{red.}} = d \cos i [(n_e^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} - (n_o^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}] = d(n_e - n_o)$$

$$(n_e^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} - (n_o^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} = \frac{n_e - n_o}{\cos i}.$$

Doppeltes Quadrieren und Zusammenfassung ergibt:

$$4n_o^2 + n_e^2 \sin^4 i + n_o^2 \sin^4 i + 2n_e n_o \sin^4 i - 4n_o(n_e + n_o) \sin^2 i$$

$$= 4n_o^2 - 4n_o^2 \sin^2 i - 4n_s^2 \sin^2 i + 4n_s^2 \sin^4 i.$$

Wird $n_e > n_s > n_\omega$ oder $n_\omega > n_s > n_e$, kann man setzen

$$n_e^2 \sin^4 i + 2n_e n_\omega \sin^4 i + n_\omega^2 \sin^4 i \approx 4n_s^2 \sin^4 i.$$

Im Bereich dieser Annäherung gilt dann

$$\begin{aligned} n_\omega (n_e + n_\omega) - n_\omega^2 &\approx n_s^2 \\ n_s &\approx (n_e n_\omega)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (4)$$

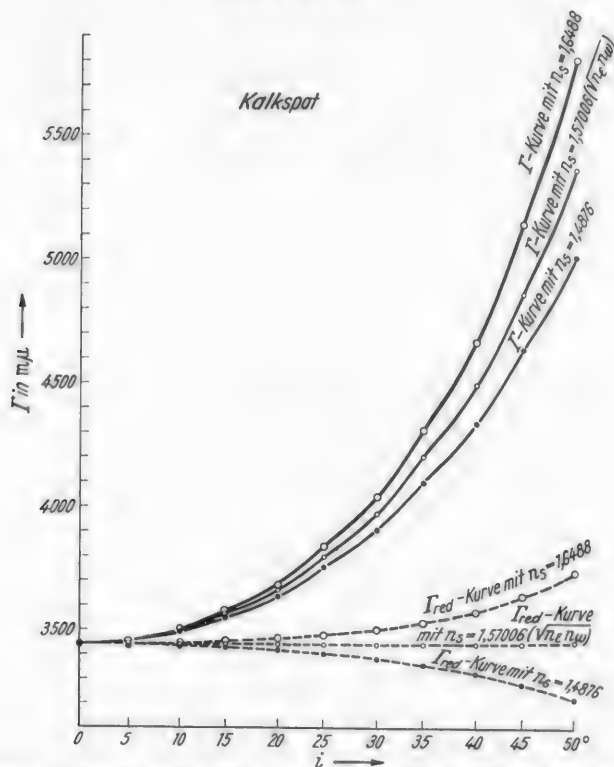


Abb. 5. Berechnete Gangunterschiedskurven für ein 20 μ dickes Kalkspat-Plättchen der Lichtbrechung für Na-Licht mit $n_\omega = 1,65837$; $n_e = 1,48645$ für sphärische Segmente der Lichtbrechung $n_s = 1,6488$, $n_s = (n_e n_\omega)^{\frac{1}{2}} = 1,57006$ und $n_s = 1,4876$. Orientierung: c liegt in der Plättchenebene. Messung in der Kreisschnittebene. Gestrichelt: Γ_{red} -Kurven. Die Γ_{red} -Kurve für $n_s = \bar{n}$ ist zwar noch annähernd eine Gerade, zeigt aber schon deutlich Abweichungen.

Der Brechungsquotient \bar{n}_s des Segmentpaares, bei dessen Verwendung die Kurve der reduzierten Gangunterschiede durch eine Gerade dargestellt wird, ist angenähert gleich der Wurzel aus dem Produkt der beiden Hauptbrechungsquotienten des vermessenen optisch einachsigen Minerals. Die Abb. 3–5 zeigen, daß diese Beziehung innerhalb des Drehbereiches von $i = 0$ – 60° und der Meßgenauigkeit der Gangunterschiede von ± 1 – 2 m μ für Quarz und Zirkon streng bestehen. Erst bei starken Doppelbrechungen wie derjenigen des Kalkspats liegt im Meßbereich von $i = 0$ – 50° der entsprechende Wert von n_s etwa 0,003 niedriger als $(n_e n_\omega)^{\frac{1}{2}}$.

Für die weitaus meisten petrographisch interessierenden, optisch einachsigen Minerale stellt die Beziehung (4) eine genügende Annäherung dar.

Abb. 8 b zeigt in vergrößertem Maßstab den Verlauf der Kurven der reduzierten Gangunterschiede von Mineralen mit sehr starker Doppelbrechung für \bar{n} -Werte

in der Nähe von $\bar{n} = (n_e n_o)^{1/2}$. Es existiert hier nicht mehr der Grenzfall der einer Geraden entsprechenden I'_{red} -Kurve für \bar{n} oder einen in der Nähe liegenden \bar{n}' -Wert. Alle in diesem Bereich liegenden Kurven sind schwach gekrümmt, indessen ist aus der Darstellung auch zu ersehen, daß die Abweichung des ermittelten optimalen Wertes von $(n_e n_o)^{1/2}$ nicht mehr als 0,002—0,003 beträgt. Die Erörterung der diesbezüglichen Verhältnisse für stark doppelbrechende Minerale, etwa den rhomboedrischen Karbonaten entsprechend, hat in diesem Zusammenhang mehr theoretisches Interesse, da nur daran liegt, die Grenzen der Methode zu ermitteln. Bis heute gelingt es noch nicht, aus diesen Mineralen Dünnschliffe in der Dicke von etwa 20μ in der erforderlichen Planparallelität und Qualität herzustellen, um diese Methode mit Erfolg anzuwenden, obwohl es technisch durchaus denkbar wäre. Gelingt es doch auch, Kalkspat als Kompensatormaterial zu verarbeiten.

2. Die definierte mittlere Lichtbrechung \bar{n} der optisch einachsigen Minerale.

a) *Methode und Ableitung.* Um das der Gleichung (4) entsprechende n_s zu ermitteln, wäre es demnach notwendig, die Gangunterschiedskurven desselben

Tabelle 2. Berechnete Werte von Quarz für Segmentpaar $n_s = 1,6488$ aus Tabelle 1 und reduzierte Gangunterschiede unter Zugrundelegung verschiedener Werte der mittleren Lichtbrechung \bar{n} des Minerals. $i' = \text{Reduktionswinkel}$.

| i | $n_s = 1,6488$ | $\bar{n}' = 1,6488$ | $\bar{n}' = 1,58$ | $\bar{n} = 1,54881$ | $\bar{n}' = 1,52$ | $\bar{n}' = 1,4876$ |
|-----|----------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | i' | i' | i' | i' | i' |
| 0 | 1822,00 | 1822,0 0° | 1822,0 0° | 1822,0 0° | 1822,0 0° | 1822,0 0° |
| 5 | 1829,90 | 1822,9 5° | 1822,3 5° 13 min 06 sec | 1822,0 5° 19 min 25 sec | 1821,7 5° 25 min 30 sec | 1821,4 5° 32 min 27 sec |
| 10 | 1853,94 | 1825,8 10° | 1823,2 10° 26 min 25 sec | 1822,0 10° 39 min 10 sec | 1820,8 10° 51 min 26 sec | 1819,3 11° 05 min 48 sec |
| 15 | 1895,94 | 1830,8 15° | 1825,0 15° 40 min 10 sec | 1822,0 15° 59 min 37 sec | 1819,2 16° 18 min 18 sec | 1815,7 16° 40 min 13 sec |
| 20 | 1956,34 | 1838,4 20° | 1827,5 20° 54 min 39 sec | 1822,05 21° 21 min 08 sec | 1816,7 21° 46 min 39 sec | 1810,3 22° 16 min 37 sec |
| 25 | 2040,20 | 1849,0 25° | 1831,0 26° 10 min 08 sec | 1822,0 26° 44 min 15 sec | 1813,1 27° 17 min 09 sec | 1802,4 27° 55 min 53 sec |
| 30 | 2152,18 | 1863,8 30° | 1836,0 31° 27 min 04 sec | 1822,0 32° 09 min 35 sec | 1808,1 32° 50 min 42 sec | 1701,5 33° 39 min 16 sec |
| 35 | 2300,76 | 1884,7 35° | 1843,1 36° 45 min 59 sec | 1822,05 37° 38 min 00 sec | 1801,2 38° 28 min 32 sec | 1776,0 39° 28 min 27 sec |
| 40 | 2498,60 | 1914,0 40° | 1853,1 42° 07 min 37 sec | 1822,0 43° 10 min 46 sec | 1791,1 44° 12 min 26 sec | 1753,3 45° 26 min 02 sec |
| 45 | 2767,82 | 1957,1 45° | 1868,0 47° 33 min 09 sec | 1822,05 48° 49 min 47 sec | 1775,9 50° 05 min 15 sec | 1719,1 51° 36 min 12 sec |
| 50 | 3148,26 | 2023,7 50° | 1891,4 53° 04 min 23 sec | 1822,05 54° 38 min 13 sec | 1751,5 56° 11 min 50 sec | 1663,2 58° 06 min 33 sec |
| 55 | 3722,84 | 2135,3 55° | 1931,9 58° 44 min 24 sec | 1822,1 60° 41 min 46 sec | 1708,2 62° 41 min 36 sec | 1560,4 65° 13 min 09 sec |
| 60 | 4704,58 | 2352,3 60° | 2014,0 64° 39 min 13 sec | 1822,3 67° 12 min 39 sec | 1612,7 69° 57 min 10 sec | 1319,2 73° 42 min 48 sec |

Minerale dünn geschliffen mit sphärischen Segmenten verschiedener Brechungsquotienten zu vermessen. Ein solches Verfahren ist aber sowohl meßtechnisch zu umständlich als auch apparativ oft undurchführbar. (Beschaffung genügend hoch lichtbrechender optischer Gläser für Segmente, z. B. beim Zirkon). Ein wesentlich einfacherer Weg führt hier zum Ziel. Man konstruiert aus einer Meßreihe, ausgeführt mit einem Segmentpaar der Lichtbrechung n_s , die $I'_{\text{red.}}$ -Kurven, die einigen versuchsweise angenommenen \bar{n}' -Werten entsprechen. Bei zu hoch angenommenem \bar{n}' ergibt sich eine $I'_{\text{red.}}$ -Kurve, deren Werte mit steigendem i im

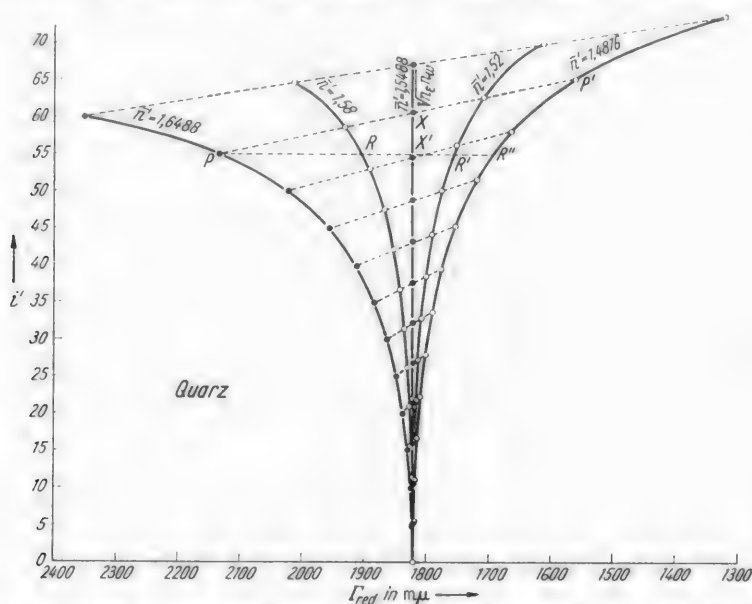


Abb. 6. Ausgehend von der Gangunterschiedskurve in der Kreisschnittebene von Quarz mit Segmenten $n_g = 1,6488$ in Abb. 3 konstruierte $\Gamma_{\text{red.}}$ -Kurven unter Zugrundelegung der angenommenen mittleren Lichtbrechungen des Minerals $\bar{n}' = 1,6488, 1,58, 1,5488, 1,52$ und $1,4876$. Nur die richtige mittlere Lichtbrechung $\bar{n} = 1,5488$ ergibt für $\Gamma_{\text{red.}}$ eine Gerade. Abszisse: Reduzierte Gangunterschiede $\Gamma_{\text{red.}}$ in $m\mu$, Ordinate: Reduzierte Winkel $\bar{\nu}'$.

Vergleich zu Γ_0 wiederum ansteigen, im entgegengesetzten Falle absinken. Wie auch bei den $\Gamma_{\text{red.}}$ -Kurven unter Verwendung verschieden lichtbrechender Segmente, besteht bei einem bestimmten \bar{n} eine Kurve, bei welcher die $\Gamma_{\text{red.}}$ -Werte für alle i gleich Γ_0 bleiben (Abb. 6—8). Die genauen Werte für Quarz enthält Tabelle 2. Dieser Wert \bar{n} läßt sich wie folgt ermitteln: Für etwa vier beliebig angenommene \bar{n}' -Werte trägt man in einem Diagramm nach Reduktion der ursprünglichen Einstellwinkel i zu i' nach dem Brechungsgesetz die $\Gamma_{\text{red.}}$ als Funktion von i' auf. Die Kurven aller \bar{n}' -Werte schneiden sich in einem Punkt, der das gesuchte Γ_0 als Abszisse und i bzw. i' als Ordinate hat. Abb. 6—8 zeigen, daß auf diese Weise \bar{n} für alle Doppelbrechungen bis $\Delta = 0,17$ ermittelt werden kann.

Für den Ausdruck $(n_e n_w)^{\frac{1}{2}}$ kann im Rahmen der Genauigkeit von $\pm 0,0003$ bis zur Doppelbrechung 0,06 auch $\frac{n_e + n_w}{2}$ gesetzt werden. Für $\Delta = 0,01$ beträgt der dadurch bedingte Fehler weniger als 0,0001 und steigt bis $\Delta = 0,06$ nur langsam auf 0,0003 an.

Man geht von einer mit einem Segmentpaar beliebiger Lichtbrechung n_s durchgeführten Messung aus und reduziert die Gangunterschiede Γ_i unter Zugrundelegung einer angenommenen mittleren Lichtbrechung des Minerals. Nimmt man zunächst $\bar{n}' = n_s$ an, so kann man mit dem \cos des geometrisch eingestellten Winkels i der Achse A_4 des Drehtisches reduzieren. Nimmt man aber ein $\bar{n}' \neq n_s$ an, dann besteht zwischen dem Reduktionswinkel i' und i die Beziehung

$$n_s \sin i = \bar{n}' \sin i', \quad \cos i' = \frac{1}{\bar{n}'} (\bar{n}'^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Gamma_{\text{red.}} = d \cdot \frac{1}{\bar{n}} (\bar{n}^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} [(n_e^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} - (n_\omega^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}] = d (n_e - n_\omega) (\bar{n}^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} [(n_e^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}} - (n_\omega^2 - n_s^2 \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}] = \bar{n}^2 (n_e - n_\omega)^2$$

Doppeltes Quadrieren ergibt

$$-4\bar{n}^4 n_\omega^2 - 4\bar{n}^4 n_e^2 + 2n_e^2 n_\omega^2 n_s^2 \sin^2 i - 8\bar{n}^2 n_e^2 n_\omega^2 + 4\bar{n}^2 n_e^2 n_s^2 \sin^2 i + 4\bar{n}^2 n_e^2 n_s^2 \sin^2 i = n_e^4 n_s^2 \sin^2 i + n_\omega^4 n_s^2 \sin^2 i - 8\bar{n}^4 n_e n_\omega - 4\bar{n}^2 n_e^3 n_\omega - 4\bar{n}^2 n_e n_\omega^3 + 8\bar{n}^2 n_e n_\omega n_s^2 \sin^2 i.$$

Angenähert ist

$$2n_e^2 n_\omega^2 n_s^2 \sin^2 i \approx (n_e^4 + n_\omega^4) n_s^2 \sin^2 i \quad \text{und} \quad 4\bar{n}^2 (n_e^2 + n_\omega^2) n_s^2 \sin^2 i \approx 8\bar{n}^2 n_e n_\omega n_s^2 \sin^2 i.$$

Die sich aus dieser Gleichung ergebenden Differenzen werden um so unbedeutender, je kleiner i und je geringer die Doppelbrechung ist. Abb. 6—8 zeigen, daß dies bis zur Doppelbrechung, z. B. des Zirkons, auch hier ohne weiteres statthaft ist, und sich sogar bei Doppelbrechungen, wie der des Kalkspats, noch gute Annäherungswerte ergeben. Es resultiert:

$$\left. \begin{aligned} \bar{n}^2 n_\omega^2 + \bar{n}^2 n_e^2 + 2n_e^2 n_\omega^2 &\approx 2\bar{n}^2 n_e n_\omega + n_e^3 n_\omega + n_e n_\omega^3 \\ \bar{n}^2 (n_e - n_\omega)^2 &\approx n_e n_\omega (n_e - n_\omega)^2 \\ \bar{n} &\approx (n_e n_\omega)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Die Rechnung führt für \bar{n} zu dem gleichen Ergebnis wie Gleichung (4) für n_s . Die auf diese Weise bestimmte mittlere Lichtbrechung \bar{n} eines optisch einachsigen Minerals ist für Doppelbrechungen bis 0,06 gleich $(n_e n_\omega)^{\frac{1}{2}}$ und ist gleich der Lichtbrechung des Segmentpaares, mit dem gemessen die Kurve der reduzierten Gangunterschiede des Minerals eine Gerade ergäbe.

b) Graphische Bestimmung von \bar{n} aus Gangunterschieds-Messungen. Gemäß dem Brechungsgesetz liegen die Winkelwerte, welche zur Reduktion der Gangunterschiede einer Meßreihe jeweils aus einem bestimmten Einstellungswinkel i der Achse A_4 für verschiedene fiktive \bar{n}' errechnet werden, praktisch auf einer Geraden (z. B. Abb. 6, Linie PP'). Es genügt daher, aus einer Meßreihe zwei Kurven der reduzierten Gangunterschiede, für $\bar{n}' = n_s$ und \bar{n}' gleich einem beliebigen Wert zu errechnen. Ist $n_s < \bar{n}'$, was aus der Krümmung der $\Gamma_{\text{red.}}$ -Kurve zu ersehen ist, dann setzt man das zweite \bar{n}' zweckmäßig $< n_s$ und umgekehrt. Man verbindet die entsprechenden Winkelwerte durch eine Gerade und bringt diese zum Schnitt mit der durch Γ_0 gehenden Ordinatenparallele. Die Schnittpunkte ergeben die Winkelwerte i' , für welche gilt: $n_s \sin i = \bar{n}' \sin i'$. Damit läßt sich für jeden i -Wert \bar{n}' errechnen. Theoretisch würde die Messung von Γ_0 und eines einzigen Γ_i zur Bestimmung von \bar{n} genügen. Praktisch jedoch ist es günstig, das arithmetische Mittel der Ergebnisse zu bilden, die für die Einstellungen von $i = 25$ bis etwa 55 — 60° von 5 zu 5° erhalten werden, da dadurch unvermeidliche geringe Meßfehler am besten ausgeglichen werden. Wegen der relativ geringen Einwirkung des Brechungsquotientenunterschiedes zwischen Mineral und Segmentpaar innerhalb des Drehbereiches von $i = 5$ bis etwa 20° werden

die diesen Werten entsprechenden Meßpunkte am besten zur Auswertung nicht herangezogen. Sie dienen lediglich zur Beurteilung des Verlaufes der Kurve und der Zuverlässigkeit der Messung.

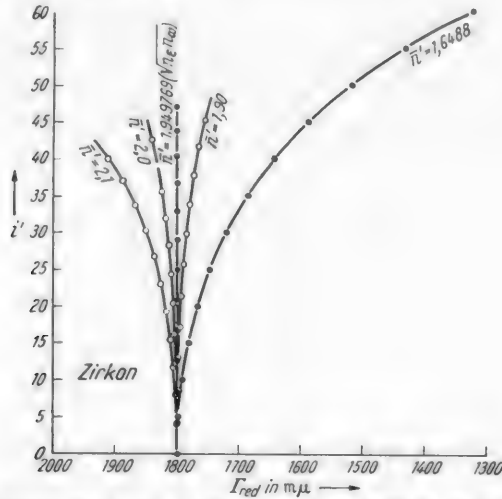


Abb. 7. Dasselbe für Zirkon aus Abb. 4. Zugrundeliegende Messung mit Segmenten $n_s = 1,6488$. Angenommene mittlere Lichtbrechungen $\bar{n}' = 1,6488; 1,9; 1,949769; 2,0; 2,1$. Die wirkliche mittlere Lichtbrechung ist $\bar{n} = (n_e n_o)^{1/2} = 1,949769$. Hier liegen die Γ_{red} auf einer Geraden. Sonst wie Abb. 6.

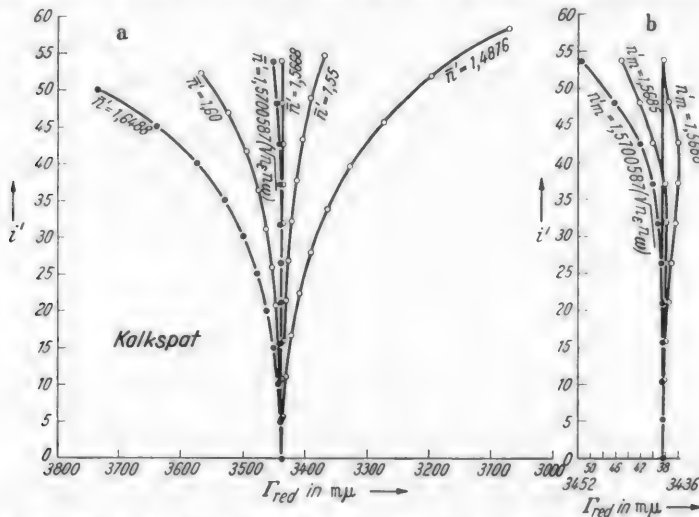


Abb. 8 a u. b. Dasselbe für Kalkspat aus Abb. 5. Zugrundeliegende Messung mit Segmenten $n_s = 1,6488$. Angenommene mittlere Lichtbrechungen $\bar{n}' = 1,6488; 1,60; 1,5700587; 1,5668; 1,55$ und $1,4876$. a Die Γ_{red} der angenommenen mittleren Lichtbrechung $\bar{n} = (n_e n_o)^{1/2}$ liegen wegen der sehr starken Doppelbrechung $\Delta = 0,172$ nicht mehr genau auf einer Geraden. Innerhalb des gesamten Drehbereiches erhält man auch mit einem anderen \bar{n}' keine Gerade für die reduzierten Gangunterschiede mehr. b Die von einer Geraden abweichende Gestalt der Γ_{red} -Kurven, deren angenommenes \bar{n}' in der Nähe von $(n_e n_o)^{1/2}$ liegt, in größerem Maßstab.

Weicht n_s des benutzten Segmentpaares bei der Vermessung von Mineralen mit stärkerer Doppelbrechung allzusehr von \bar{n} ab, dann liegen die bestimmten i' -Werten koordinierten Reduktionswinkel für angenommenes \bar{n}' nicht mehr auf

Geraden, sondern auf schwach gekrümmten Kurven (Abb. 8). In solchen Fällen empfiehlt es sich, zur Ermittlung der genauen i' -Werte wenigstens eine dritte Kurve reduzierter Gangunterschiede für ein \bar{n}' einzuschalten, das nicht allzuweit vom wirklichen \bar{n} entfernt liegt.

c) *Rechnerische Bestimmung von \bar{n} aus Gangunterschieds-Messungen.* Zu einem formelmäßigen Ausdruck für \bar{n} kommt man in folgender Weise: Zwischen dem unter Verwendung der Segmente n_s geometrisch eingestellten Winkel i und dem Winkel i' der mittleren Lichtbrechung \bar{n} gilt das Brechungsgesetz:

$$n_s \sin i = \bar{n} \sin i'. \quad (6)$$

Der mit $\cos i'$ reduzierte gemessene Gangunterschied I'_i ist aber gleich I'_0 , so daß

$$I'_i \cos i' = I'_0. \quad (7)$$

Kombination von (6) und (7) führen zu

$$\bar{n} = \frac{n_s \sin i}{\left(1 - \frac{I'^2_0}{I'^2_i}\right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (8)$$

Man legt sämtliche I'_i -Bestimmungen einer Meßreihe zugrunde und den Wert I'_0 bei $i = 0^\circ$. Das Mittel dieser Werte ergibt im allgemeinen einen guten Mittelwert für \bar{n} . Man tut auch hier gut daran, erst die I'_i -Werte von $i \geq 30^\circ$ zu berücksichtigen.

Soll aus irgend einem Grunde I'_0 nicht verwertet werden, kann man auch mit zwei I'_i -Werten auskommen. Für diese gilt:

$$I'_i \cos i'_1 = I'_i \cos i'_2 \quad (7a)$$

$$\cos^2 i'_1 = 1 - \frac{n_s^2 \sin^2 i_1}{\bar{n}^2} \quad (9a)$$

$$\cos^2 i'_2 = 1 - \frac{n_s^2 \sin^2 i_2}{\bar{n}^2}. \quad (9b)$$

Kombination von (7a) und (9a und b) ergibt

$$\bar{n} = n_s \left(\frac{I'^2_{i_1} \sin^2 i_1 - I'^2_{i_2} \sin^2 i_2}{I'^2_{i_1} - I'^2_{i_2}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Setzt man einen Wert einer Meßreihe als I'_{i_1} , etwa den für $i = 30^\circ$, ein, als I'_{i_2} alle übrigen ermittelten Werte, so erhält man aus dem arithmetischen Mittel ebenfalls einen guten Wert für \bar{n} . Bei guten Meßwerten sollten die Ergebnisse nach (8) und (10) nahe beieinander liegen.

Die Konstanz des Mittelwertes \bar{n} aus den Gleichungen (8) und (10) über den gesamten Drehbereich der Kontrollachse A^4 ist ebenso gewährleistet wie bei den graphischen Darstellungen. Dies geht aus Tabelle 3 hervor.

Die Gleichungen (8) und (10) sind nicht identisch mit denjenigen, die ebenfalls auf Grund von I' -Messungen für n_ω und n_e in der Kreisschnittebene und im Hauptschnitt aufgestellt worden sind für Schiffe $||c$ (MOSEBACH 1947, S. 21—22).

MÉLON (1934, S. 80, Formel 93) kommt für einen mittleren Brechungsquotienten zur selben Gleichung (10). Dieser entspricht somit dem Wert $(n_e n_\omega)^{\frac{1}{2}}$.

Tabelle 3. *Mittlere Werte der Lichtbrechung \bar{n} nach den Gleichungen (8), (a) und (10), (b) berechnet, für Quarz, Zirkon und Kalkspat.*

Auch hier zeigt sich erst bei der starken Doppelbrechung des Kalkspates eine geringfügige Inkonstanz von \bar{n} . Meßwerte für $n_s = 1,6488$ und Na-Licht.

| | Quarz | | Zirkon | | Kalkspat | |
|-----|--|-------|--------|-------|----------|-------|
| | Theoretischer Wert $\bar{n} = (n_x n_y)^{\frac{1}{2}}$ | | | | | |
| | 1,549 | | 1,950 | | 1,570 | |
| | Auf Grund der Ferrechnete \bar{n} | | | | | |
| | a | b | a | b | a | b |
| 10° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,570 | 1,569 |
| 15° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,570 | 1,569 |
| 20° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,570 | 1,568 |
| 25° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,570 | 1,568 |
| 30° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,570 | 1,568 |
| 35° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,570 | — |
| 40° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,569 | 1,567 |
| 45° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,568 | 1,566 |
| 50° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | 1,567 | 1,566 |
| 55° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | — | — |
| 60° | 1,549 | 1,549 | 1,950 | 1,950 | — | — |

3. Übertragung auf optisch zweiachsige Minerale mit kleinem Achsenwinkel.

Dieses Verfahren der Bestimmung einer mittleren Lichtbrechung läßt sich auf optisch zweiachsige Kristalle ausdehnen, wenn $2V$ und die Doppelbrechung klein sind. In diesem Fall sind bei optisch positivem Charakter $n_x \approx n_\beta \neq n_y$, bei optisch negativem Charakter $n_x \neq n_\beta \approx n_y$. Bei geringer Doppelbrechung liegen die Differenzen zwischen n_x und n_β bzw. n_y und n_β höchstens in der 4. Dezimalen, und die Indicatrix läßt sich als Rotationsellipsoid behandeln. Da die Meßgenauigkeit der Gangunterschiede etwa $\pm 0,001$ bis $\pm 0,003$ der Brechungsquotienten entspricht, ist die Angabe für die mittlere Lichtbrechung

$$\bar{n} \approx (n_x n_y)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

genügend genau.

IV. Meßbeispiele.

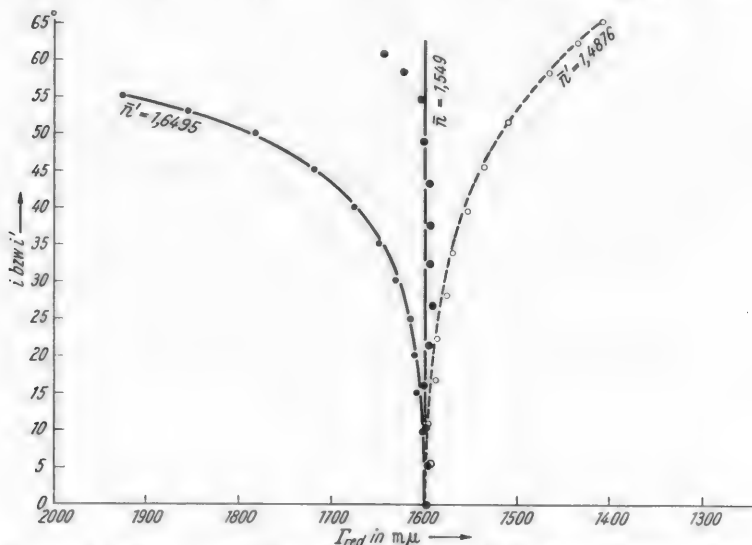
1. Graphische Auswertung.

Die Theorie des Verfahrens ist in Abschnitt B III 2b geschildert. Abb. 9 zeigt seine Genauigkeit für die Quarz-Meßreihe der Tabelle 4. Die weitgehende Annäherung der Kurve für angenommenes $\bar{n} = 1,549$ an eine Gerade geht aus der Lage der Meßpunkte hervor. Die Werte für $i = 53^\circ$ und 55° , bezogen auf $n_s = 1,6495$, entsprechen den tatsächlichen Winkeln $i' = 58^\circ 16'$ und $60^\circ 41'$. Die relativ starke Abweichung dieser Punkte von der Geraden erklärt sich durch die Empfindlichkeit der Einstellung dieser großen Winkelwerte.

Die graphische Auswertung der anderen, im folgenden nur rechnerisch ausgewerteten Meßbeispiele zeigt ähnliche Verhältnisse.

Tabelle 4. Quarz, $\parallel c$, Messung in der Ebene $\perp c$, $n_s = 1,6495$, Γ in $m\mu$.

| i | Γ | i | Γ | Γ Mittel | a \bar{n} berechnet nach (8) | b \bar{n} berechnet nach (10) |
|-----|----------|-----|----------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 1597,6 | | | 1597,6 | | 1,559 |
| 5 | 1604,9 | 355 | 1599,2 | 1602,1 | | 1,555 |
| 10 | 1626,0 | 350 | 1625,1 | 1625,6 | (1,550) | 1,559 |
| 15 | 1664,8 | 345 | 1664,3 | 1664,6 | (1,517) | (1,565) |
| 20 | 1712,2 | 340 | 1713,3 | 1712,8 | (1,565) | 1,557 |
| 25 | 1779,8 | 335 | 1782,5 | 1781,2 | (1,577) | 1,550 |
| 30 | 1881,7 | 330 | 1882,8 | 1882,3 | 1,559 | (1,586) |
| 35 | 2006,5 | 325 | 2013,9 | 2010,2 | 1,559 | |
| 40 | 2185,5 | 320 | 2185,8 | 2185,7 | 1,547 | 1,543 |
| 45 | 2427,2 | 315 | 2432,6 | 2429,9 | 1,548 | 1,530 |
| 50 | 2762,7 | 310 | 2779,0 | 2770,9 | 1,547 | 1,542 |
| 53 | 3070,7 | 307 | 3090,8 | 3080,8 | 1,545 | 1,541 |
| 55 | 3337,6 | 305 | 3355,1 | 3346,4 | 1,540 | 1,537 |
| | | | | | 1,549 | 1,548 |
| | | | | | $\pm 0,002$ | $\pm 0,003$ |

Abb. 9. Graphische Bestimmung der mittleren Lichtbrechung \bar{n} von Quarz. Meßreihe der Tabelle 4, Auswertung analog Abb. 6. Gefüllte Kreise Meßpunkte mit $n_s = 1,6495$. Doppelkreise: Lage der Meßpunkte bei angenommenem $\bar{n} = 1,549$, hohle Kreise bei $\bar{n}' = 1,4876$.

2. Rechnerische Auswertung.

In den Tabellen 4—8 sind Γ -Meßreihen für eine Anzahl optisch einachsiger Minerale zusammengestellt. Die Auswahl ist nach der Verschiedenheit ihrer Licht- und Doppelbrechung getroffen. Die Gangunterschiede beziehen sich auf Na-Licht und wurden auf dem Drehtisch mit Drehkompensatoren unter Beachtung möglicher Genauigkeit gemessen (MOSEBACH 1949). Die Errechnung von \bar{n} ist nach Gleichung (8) und (10) durchgeführt. Im ersten Fall werden die Werte für i -Einstellungen von 5—20° zur Mittelbildung nicht herangezogen. Im zweiten Fall ist dies möglich, wenn als i_1 ein Wert von etwa 35° eingesetzt wird. Hier werden jedoch aus ähnlichen Gründen die sehr benachbarten Werte von $i = 30^\circ$ und möglicherweise auch 40° ungenau.

a) *Quarz*. Der in Tabelle 4 vermessene Quarz, parallel c orientiert, ergibt $\bar{n} = 1,549$, wobei die mittlere Streuung $\pm 0,002$ bis $0,003$ beträgt. Der Wert stimmt mit der mittleren Lichtbrechung des Quarzes für Na-Licht ($n_o = 1,5443$; $n_e = 1,5534$; $\bar{n} = (n_e n_o)^{\frac{1}{2}} = 1,5488$) sehr gut überein.

Tabelle 5. *Quarz, Orientierung η (∇ Schliffnormale: optische Achse) $\sim 76^\circ$, nach Einstellung der Ebene $\perp c$ in Tubusrichtung mit dem Drehtisch Messung in dieser Ebene, $n_s = 1,6495$; Γ in $m\mu$.*

| i | Γ | i | Γ | Γ Mittel | a \bar{n} berechnet nach (8) | b \bar{n} berechnet nach (10) |
|-----|----------|-----|----------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 1709,5 | | | 1709,5 | | 1,544 |
| 10 | 1747,3 | 350 | 1736,3 | 1741,8 | (1,412) | 1,548 |
| 15 | 1786,4 | 345 | 1776,0 | 1781,2 | (1,520) | 1,548 |
| 20 | 1846,6 | 340 | 1832,5 | 1839,6 | (1,527) | 1,550 |
| 25 | 1926,1 | 335 | 1904,9 | 1915,5 | 1,545 | 1,544 |
| 30 | 2037,5 | 330 | 2002,4 | 2020,0 | 1,548 | 1,537 |
| 35 | 2189,5 | 325 | 2136,2 | 2162,9 | 1,544 | — |
| 40 | 2378,1 | 320 | 2311,8 | 2345,0 | 1,547 | 1,559 |
| 45 | 2661,1 | 315 | 2551,2 | 2606,2 | 1,545 | 1,546 |
| | | | | | 1,546 $\pm 0,001$ | 1,547 $\pm 0,0072$ |
| | | | | | 1,547 | |

Bemerkenswert ist das in Tabelle 5 dargestellte Beispiel eines Quarzes, dessen Kreisschnitt-Ebene zur Schliffnormalen einen Winkel von etwa 20° bildet. Die eingemessene Kreisschnittebene ergibt die gemessenen Gangunterschiede. Die aus diesen errechneten Brechungsquotienten bilden das Mittel $\bar{n} = 1,547 \pm 0,002$. Daraus ergibt sich die Brauchbarkeit der Methode auch für beliebig orientierte Dünnschliffe, wenn der Winkel η nicht zu groß wird.

b) *Korund*. Tabelle 6 enthält 3 Meßreihen an Dünnschliffen aus synthetischem Korund, parallel c orientiert. Um die Zuverlässigkeit der Methode zu prüfen, wurden die Meßreihen von 2 Beobachtern¹ durchgeführt. Die Mittelwerte zweier Meßreihen von 2 Beobachtern stimmen mit $\bar{n} = 1,757$ und $1,758$ unter sich gut überein, während ein dritter Wert davon mit $\bar{n} = 1,765$ stark abweicht. Indessen liegen die Fehlermittel von $\pm 0,003$ bis $0,008$ relativ hoch. Künstlicher Korund hat $n_o = 1,7738$, $n_e = 1,7655$, mithin $\bar{n} = 1,770$ (Na-Licht). (ROSEN-BUSCH-MÜGGE 1927, S. 169.) Die Ursache dieser relativ schlechten Übereinstimmung dürfte in der durch die große Härte des Minerals bedingten, weniger guten Beschaffenheit des Dünnschliffs zu suchen sein. (Vgl. Abschnitt BI.)

c) *Zirkon*. An einem Zirkon unbekannter Herkunft ergeben 2 Meßreihen (Tabelle 7) $\bar{n} = 1,952 \pm 0,016$ und $1,950 \pm 0,010$. Obwohl der Streubereich der Einzelwerte ziemlich groß ist, stimmen die Mittelwerte mit der bereits früher ermittelten Lichtbrechung gut überein. $n_o = 1,925$; $n_e = 1,988$; $\bar{n} = 1,956$ (MOSEBACH 1947).

d) *Turmalin*. In Tabelle 8 sind die Gangunterschiede und Brechungsquotienten \bar{n} eines zonar (rosa-grün) gefärbten Turmalins von Brasilien zusammengestellt. Da die Kreisschnittebene nicht ganz senkrecht zur Schliffebene orientiert ist, wurde eine Messung mit der Koordinate $a_2 = 0^\circ$, eine zweite mit $a_2 = 45'$ der Schwenkachse A^2 durchgeführt.

¹ Herrn Dr. W. WEISKIRCHNER danke ich für diese freundliche Hilfeleistung bestens.

Tabelle 7. Zirkon $\parallel c$, Messung in der Ebene $\perp c$, $n_s = 1,6495$; Γ in mp .

| Messung 1 | | | | | Messung 2 | | | | |
|-----------|----------|-----|----------|-----------------------|-----------|----------|-----|----------|-----------------------|
| i | Γ | i | Γ | Γ' (Mittel) | i | Γ | i | Γ | Γ' (Mittel) |
| 0 | 3448,6 | | | 3448,6 | 0 | 3448,6 | | | 3448,6 |
| 10 | 3479,0 | 350 | 3478,0 | 3478,5 | 10 | 3470,8 | 350 | 3485,6 | 3478,2 |
| 15 | | 345 | | | 15 | 3518,5 | 345 | 3535,5 | 3527,0 |
| 20 | 3596,9 | 340 | 3596,9 | 3596,9 | 20 | 3585,7 | 340 | 3603,3 | 3594,5 |
| 25 | 3680,3 | 335 | 3681,9 | 3680,8 | 25 | 3671,4 | 335 | 3700,4 | 3685,9 |
| 30 | 3798,4 | 330 | 3795,8 | 3797,1 | 30 | 3780,1 | 330 | 3815,9 | 3798,0 |
| 35 | 3941,6 | 325 | 3938,4 | 3940,0 | 35 | 3918,7 | 325 | 3965,4 | 3942,0 |
| 40 | 4104,3 | 320 | 4100,8 | 4102,5 | 40 | 4076,0 | 320 | 4131,6 | 4103,0 |
| 45 | | 315 | | | 45 | 4261,8 | 315 | 4340,7 | 4301,3 |
| 50 | | 310 | | | 50 | 4470,6 | 310 | 4570,0 | 4520,3 |

| i | a \bar{n} nach (8) | b \bar{n} nach (10) | i | a \bar{n} nach (8) | b \bar{n} nach (10) |
|----|-------------------------|--------------------------|----|-------------------------|--------------------------|
| 0 | | 1,956 | 0 | | 1,953 |
| 10 | (2,189) | 1,941 | 10 | (2,200) | 1,937 |
| 15 | | | 15 | (2,033) | 1,938 |
| 20 | (1,985) | 1,947 | 20 | (2,000) | 1,934 |
| 25 | (1,994) | 1,924 | 25 | 1,975 | 1,934 |
| 30 | 1,970 | 1,923 | 30 | 1,968 | 1,912 |
| 35 | 1,956 | | 35 | 1,953 | |
| 40 | 1,958 | 1,961 | 40 | 1,957 | 1,968 |
| 45 | | | 45 | 1,952 | 1,950 |
| 50 | | | 50 | 1,955 | 1,955 |
| | 1,961 | 1,942 | | 1,957 | 1,942 |
| | $\pm 0,016$ | $\pm 0,016$ | | $\pm 0,003$ | $\pm 0,016$ |
| | 1,952 $\pm 0,016$ | | | 1,950 $\pm 0,10$ | |

Tabelle 8. Turmalin, $\sim \parallel c$, in der Ebene $\perp c$ gemessen, $n_s = 1,6495$, Γ in mp .

| Messung 1: Koordinate von $\alpha_s = 0^\circ$ | | | | | Messung 2: Koordinate von $\alpha_s = 45^\circ$ | | | | |
|--|--------|-----|--------|----------------|---|--------|-----|--------|----------------|
| i | I' | i | I' | I' Mittel | i | I' | i | I' | I' Mittel |
| 0 | 2531,4 | | | 2531,4 | 0 | 2532,1 | | | 2532,1 |
| 10 | 2569,0 | 350 | 2574,1 | 2571,5 | 10 | 2570,5 | 350 | 2574,7 | 2572,6 |
| 20 | 2680,8 | 340 | 2705,6 | 2693,2 | 20 | 2694,4 | 340 | 2704,5 | 2699,6 |
| 25 | 2794,0 | 335 | 2804,3 | 2799,2 | 25 | 2792,6 | 335 | 2806,3 | 2799,5 |
| 30 | 2933,8 | 330 | 2936,2 | 2935,0 | 30 | 2926,6 | 330 | 2935,2 | 2931,1 |
| 35 | 3111,2 | 325 | 3118,7 | 3115,0 | 35 | 3106,6 | 325 | 3115,0 | 3111,3 |
| 40 | 3332,6 | 320 | 3333,5 | 3333,1 | 40 | 3330,1 | 320 | 3344,9 | 3332,4 |
| 45 | 3626,6 | 315 | 3324,3 | 3625,5 | 45 | 3632,4 | 315 | 3625,5 | 3629,0 |

| i | α \bar{n} nach (8) | β \bar{n} nach (10) | α \bar{n} nach (8) | β \bar{n} nach (10) |
|-----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0 | | 1,624 | | 1,628 |
| 10 | (1,589) | 1,623 | (1,621) | 1,629 |
| 20 | (1,653) | 1,613 | (1,627) | 1,629 |
| 25 | 1,633 | 1,616 | 1,635 | 1,623 |
| 30 | 1,630 | 1,611 | 1,637 | (1,610) |
| 35 | 1,624 | | 1,628 | |
| 40 | 1,630 | 1,645 | 1,631 | 1,637 |
| 45 | 1,629 | 1,625 | 1,628 | 1,628 |
| | 1,629 | 1,624 | 1,632 | 1,629 |
| | $\pm 0,002$ | $\pm 0,005$ | $\pm 0,002$ | $\pm 0,002$ |
| | | 1,627 $\pm 0,0035$ | | 1,630 $\pm 0,002$ |

Tabelle 9. Eisenorthoklas von Fianarantsoa, Madagaskar, ungefähr $\parallel \{010\}$ orientiert ($\perp n_v$), Messung in der np_v -Ebene. $n_s = 1,6495$; Γ in $m\mu$.

| Messung 1 | | | | | Messung 2 | | | | | Messung 3 | | | | |
|-----------|--------------------|---------------------|----------|-----------------|--------------------|---------------------|-------------|----------|-----------------|--------------------|---------------------|-----|-------------|-----------------|
| i | Γ | i | Γ | Γ Mittel | i | Γ | i | Γ | Γ Mittel | i | Γ | i | Γ | Γ Mittel |
| 0 | 826,7 | | | 826,7 | 0 | 827,0 | | | 827,0 | 0 | 827,0 | | | 827,0 |
| 10 | 836,7 | 350 | 837,2 | 837,0 | 10 | 844,2 | 350 | 836,3 | 840,3 | 10 | | 350 | | |
| 20 | 882,7 | 340 | 884,6 | 883,7 | 20 | 898,0 | 340 | 878,9 | 888,5 | 20 | | 340 | | |
| 25 | 925,8 | 335 | 923,0 | 924,4 | 25 | 943,3 | 335 | 914,7 | 929,0 | 25 | | 335 | 923,0 | 924,4 |
| 30 | 980,2 | 330 | 982,6 | 981,4 | 30 | 1002,0 | 330 | 969,2 | 985,6 | 30 | 925,8 | 330 | 976,5 | 979,0 |
| 35 | 1053,8 | 325 | 1058,6 | 1056,2 | 35 | 1084,5 | 325 | 1039,1 | 1061,8 | 35 | 1059,3 | 325 | 1049,0 | 1054,2 |
| 40 | 1150,0 | 320 | 1155,4 | 1152,7 | 40 | 1191,5 | 320 | 1125,8 | 1158,7 | 40 | 1158,0 | 320 | 1143,0 | 1150,5 |
| 45 | 1281,5 | 315 | 1288,1 | 1284,4 | 45 | 1341,8 | 315 | 1246,0 | 1293,9 | 45 | 1296,4 | 315 | 1274,6 | 1285,5 |
| 50 | 1481,6 | 310 | 1489,0 | 1485,3 | 50 | 1558,2 | 310 | 1425,2 | 1491,7 | 50 | 1502,8 | 310 | 1465,1 | 1484,0 |
| | \bar{n} nach (8) | \bar{n} nach (10) | | | \bar{n} nach (8) | \bar{n} nach (10) | | | | \bar{n} nach (8) | \bar{n} nach (10) | | | |
| | $\pm 0,002$ | $\pm 0,013$ | | | $\pm 0,003$ | $\pm 0,017$ | | | | $\pm 0,001$ | $\pm 0,005$ | | | |
| | | $1,518 \pm 0,007$ | | | | $1,514 \pm 0,010$ | | | | | $1,522 \pm 0,003$ | | | |
| 0 | (1,831) | | 1,520 | | (1,616) | | 1,509 | | 1,521 | | (1,560) | | 1,526 | |
| 10 | (1,597) | | 1,506 | | (1,543) | | 1,521 | | 1,497 | | (1,541) | | 1,502 | |
| 20 | (1,558) | | 1,497 | | 1,530 | | 1,481 | | 1,481 | | 1,526 | | (1,498) | |
| 25 | 1,530 | | 1,495 | | 1,516 | | (1,492) | | 1,525 | | 1,525 | | 1,524 | |
| 30 | 1,520 | | 1,501 | | 1,509 | | — | | 1,523 | | 1,523 | | 1,521 | |
| 35 | 1,522 | | 1,524 | | 1,514 | | 1,525 | | 1,522 | | 1,522 | | 1,520 | |
| 40 | 1,524 | | 1,527 | | 1,517 | | 1,522 | | 1,511 | | 1,524 | | 1,519 | |
| 45 | 1,521 | | 1,521 | | 1,518 | | 1,511 | | 1,511 | | $\pm 0,001$ | | $\pm 0,005$ | |
| 50 | 1,524 | | 1,511 | | 1,517 | | $\pm 0,017$ | | | | | | | |
| | $\pm 0,002$ | $\pm 0,013$ | | | $\pm 0,003$ | $\pm 0,017$ | | | | | | | | |

Für Na-Licht bestimmen sich die Hauptbrechungsquotienten mit dem Halbkugelrefraktometer zu $n_\omega = 1,6400 \pm 0,0002$; $n_e = 1,6214 \pm 0,0002$, $\bar{n} = 1,6307$ in der rosa gefärbten Zone. Die Ergebnisse in Tabelle 7 stimmen, auch hinsichtlich der errechneten Fehlermittel, damit gut überein.

e) *Eisenorthoklas*. Ein Dünnschliff, etwa parallel {010}, d. h. senkrecht zu n_y , dieses seltenen Minerals von Madagaskar wird vermessen (Tabelle 9). Die vorliegende Probe des Eisenorthoklases weist für Na-Licht einen Achsenwinkel $2V \sim 6^\circ$ bei relativ starker Dispersion und normalsymmetrischer Achsenebene auf. Das Mineral ist somit als Beispiel zum Abschnitt BIII 3 gut geeignet. Nach FAUST (1936, S. 757) sind die optischen Konstanten der Eisenorthoklase von Madagaskar $n_x = 1,5185-1,5216$; $n_\beta = 1,5225-1,5259$; $n_y = 1,5239-1,5261$; in einem Fall wurde auch der Achsenwinkel mit $2Vn_x = 34^\circ 06'$ bestimmt. Daraus ergibt sich $\bar{n} = (n_x n_y)^{1/2} = 1,521-1,524$.

Diesem Mittelwert kommt die Messung 3 in Tabelle 9 mit $\bar{n} = 1,522 \pm 0,003$ sehr nahe. Die Meßreihen 1 und 2 ergeben niedrigere Werte, weisen aber gleichzeitig eine wesentlich höhere Fehlergrenze als Meßreihe 3 auf.

Die vermessenen einachsigen Minerale zeigen, daß die beschriebene Gangunterschiedsmethode gute Werte einer definierten mittleren Lichtbrechung, auch unter den erschwierenden Bedingungen hoher Licht- und starker Doppelbrechung zu liefern vermag.

Zusammenfassung.

Durch Gangunterschiedsbestimmungen in der auf dem Drehtisch eingemessenen Kreisschnittene optisch einachsiger Kristalle läßt sich eine mittlere Lichtbrechung $\bar{n} = (n_e n_\omega)^{1/2}$ theoretisch ableiten und experimentell direkt bestimmen. Ein graphisches und ein rechnerisches Verfahren zur Gewinnung der \bar{n} aus den Gangunterschieden wird entwickelt und an Quarz, Korund, Zirkon, Turmalin und Eisenorthoklas ausprobiert. Man erhält für die mittlere Lichtbrechung Werte, die günstigenfalls mit der Immersionsmethode an Genauigkeit vergleichbar sind.

Literatur.

BEREK, M.: Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtischmethoden. Berlin 1924. — FAUST, G. T.: The fusion relations of iron-orthoclase, with a discussion of the evidence for the existence of an iron-orthoclase molecule in feldspars. Amer. Mineralogist Bd. 21 (1936) S. 735—763. — MALLARD, E.: Traité de cristallogr. Bd. 2 (1884) S. 474. — MELON, J.: Essai de la détermination des propriétés optiques d'un minéral par la mesure, en lumière parallèle oblique, des retards en différents points d'une lame cristalline. Ann. Soc. géol. Belg. 57 (1933/34). — MOSEBACH, R.: Über die Bestimmung der Brechungszahlen doppeltbrechender Minerale im gedeckten Dünnschliff. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, math.-physik. Kl. (1947) S. 20—22. — Das Messen optischer Gangunterschiede mit Drehkompensatoren. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. Bd. 1 (1949a) S. 515—528. — Ein einfaches Verfahren zur Erhöhung der Meßgenauigkeit kleiner optischer Gangunterschiede. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. Bd. 12 (1949b) S. 172—175. — Eine Differenzmethode zur Erhöhung der Meßgenauigkeit und Erweiterung des Meßbereiches normaler Drehkompensatoren. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. Bd. 2 (1949c) S. 167—171. — PÖCKELS, F.: Lehrbuch der Kristalloptik. Leipzig u. Berlin 1906. — POPE, W. I.: Z. Kristallogr. Bd. 28 (1897) S. 114. — ROSENBUSCH, H., u. O. MÜGGE: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, Bd. I/2. Stuttgart: E. Schweizerbart 1927. — ROSENBUSCH, H., u. E. A. WÜLFING: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, Bd. I/1, 846 S. Stuttgart: E. Schweizerbart 1921/24.

Prof. Dr. RUDOLF MOSEBACH,
Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Neckarhalde 70.

Aus dem Sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen.

Verwitterung und Bodenbildung auf diluvialen Schotterterrassen.

Von

MATTHIAS SALGER.

Mit 7 Textabbildungen.

(Eingegangen am 10. März 1954.)

Inhaltsverzeichnis.

| | Seite |
|---|-------|
| A. Einleitung | 288 |
| B. Methodik und Ergebnisse | 289 |
| I. Probenahme | 290 |
| II. Vorbereitung und allgemeine Untersuchung der Proben | 292 |
| 1. Sieben | 292 |
| 2. Farbwertbestimmung | 292 |
| 3. Carbonatbestimmung | 292 |
| 4. Korngrößenbestimmung durch Schlämmen | 293 |
| III. Spezielle Untersuchungen | 294 |
| 1. Mikroskopische Untersuchung | 294 |
| 2. Röntgenanalyse | 299 |
| 3. Differentialthermoanalyse | 299 |
| 4. Untersuchungen an der organischen Substanz | 300 |
| 5. Das Eisenhydroxyd | 305 |
| IV. Auswertung | 306 |
| Zusammenfassung | 310 |
| Literatur | 318 |

A. Einleitung.

In Fortführung der am Rostocker und Göttinger Mineralogischen Institut durchgeführten Studien an Bodenprofilen wird in der vorliegenden Arbeit geprüft, ob und wie weit es möglich ist, mit mineralogischen Methoden etwas auszusagen über Mineralumbildungsvorgänge in Bodenprofilen und ihren Zeitbedarf.

Die Vorbedingungen für die Durchführung derartiger vergleichender Profilstudien sind genaue Kenntnis des geologischen Alters der Profile, möglichst geringe Unterschiede im Ausgangsmaterial, Ablagerung und Profilbildung unter annähernd gleichen klimatischen Verhältnissen.

Diese Bedingungen sind im allgemeinen recht gut erfüllt in den Ablagerungen des alpinen Gletschervorlandes, den weitgedehnten und übersichtlich gegliederten Schotterterrassen mit ihren Lößen. Es wurden daher von 3 unmittelbar räumlich anschließenden Terrassen je 2 Bodenprofile genommen. Das Parallelprofil der mittleren Terrasse allerdings stammt nicht vom gleichen Schotterverband, sondern aus einem Nachbartal. Dadurch ist es möglich, den Einfluß von nicht genau gleichartigem Ausgangsmaterial auf die Profilbildung zu übersehen und die vorwiegend zeitabhängigen Vorgänge besser abzugrenzen.

B. Methodik und Ergebnisse.

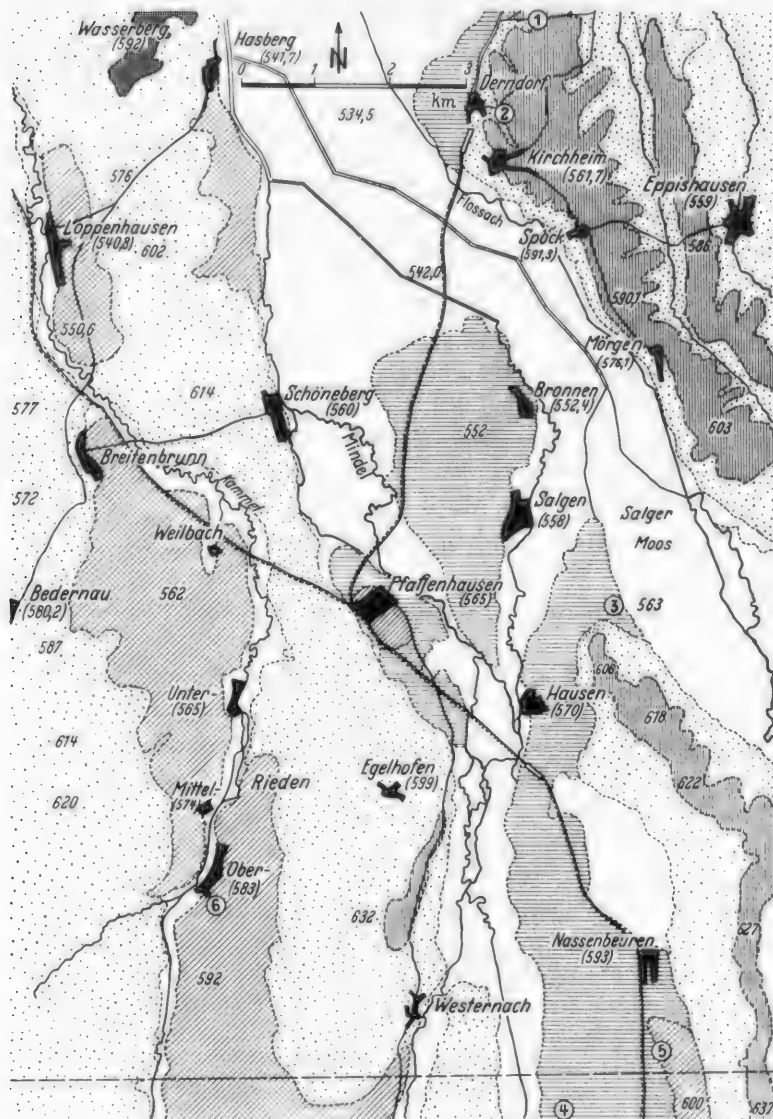


Abb. 1a. Kartenskizze des Untersuchungsgebietes.

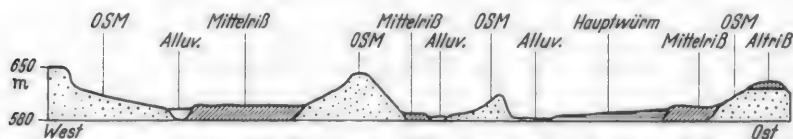


Abb. 1b. Profil durch das Untersuchungsgebiet von West nach Ost. West—Ostprofil entlang der Linie in der Kartenskizze 10fach überhöht. Die in der Kartenskizze mit Ziffern im Kreis bezeichneten Punkte sind die Herkunftsorte der durch diese Ziffern gekennzeichneten Profile.

I. Probenahme.

Im mittleren Teil der Iller-Lechplatte, im Mindel- und Kammeltal, wurden 6 Profile nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

1. Horizontale Lagerung. Dadurch sollten durch Erosion oder Akkumulation hervorgerufene Unregelmäßigkeiten ausgeschaltet werden.
2. Möglichst vollkommene Profilausbildung.
3. Auswahl nach mittleren Horizontmächtigkeiten.

Alle Profile wurden in Kiesgruben genommen, weil nur hier die Profilausbildung und die mittlere Horizontmächtigkeit über eine längere Strecke hinweg beurteilt werden können. Gerade auf den älteren Terrassen könnten bei einer Probenahme im geschlossenen Gelände große Fehler unterlaufen, welche die Vergleichbarkeit der Profile von vornherein in Frage stellen würden. Hier sind nämlich Verwitterungstaschen sehr häufig, in denen die Profilmächtigkeit ein Mehrfaches der normalen Mächtigkeit betragen kann.

Nach eingehender Erkundung, Kartierung, Messung und Vergleich der Profil- und Horizontausbildung wurden an folgenden Stellen Profile genommen:

1. Kiesgrube am Rüpel, 2 km nördlich Derndorf, am Ostrand des Mindeltales, 20 km nördlich Mindelheim. — Altriß ohne Löß.
2. Kiesgrube am Wiedenberg, östlich Derndorf, 2 km nördlich vom Rüpel. — Altriß mit Löß.
3. Kiesgrube bei Hausen, an der Straße Hausen—Zaisertshofen. — Hauptwürm ohne Löß.
4. Kiesgrube am Nordrand von Mindelheim, an der Krumbacher Landstraße, 7 km südlich der Kiesgrube Hausen. — Hauptwürm ohne Löß.
5. Kiesgrube 500 m südlich Nassenbeuren, an der Straße Nassenbeuren—Mindelheim. — Mittelriß mit Löß.
6. Gemeindekiesgrube Oberrieden im Kammeltal. — Mittelriß mit Löß.

Profilnahme: Das Profil wurde ausgegraben, die Wand geglättet, zweimal in Abständen von etwa einer Woche mit einer 1:4 verdünnten Eisenia-Profillacklösung gespritzt, um es oberflächlich zu verfestigen. Zur Aufnahme der Bodenprofile wurden Kästen von 1 m Länge, 15 cm Breite und 3 cm Randhöhe angefertigt. Die etwas verfestigte Oberfläche des Profils wurde mit einer Maurerkelle Stück für Stück abgehoben und mit der gelackten Seite nach unten in die mit Lack (1:2 verdünnt) ausgegossenen Kästen gelegt. Eine Profilnahme als Film erwies sich infolge der vielen Gerölle als unmöglich.

Unmittelbar nach Abnahme des Profils wurden von allen makroskopisch erkennbaren Horizonten Proben von etwa 1 kg in Leinensäcken abgefüllt.

Profilbeschreibung.

1. Rüpel.

Unter einem Bewuchs von Luzerne 20 cm krümeliger, stark mit Geröllen und Geröllbruchstücken durchsetzter Boden:

- 20—40 cm humoser Lehm,
- 40—140 cm rotbrauner Lehm,

140—200 cm hellgraubrauner Zersatz,
200—230 cm gelbes Sandband,
230—250 cm mit Eisenhydroxyd überzogener Rollkies,
tiefer als 250 cm Frischkies.

2. Wiedenbergr.

0—35 cm krümeliger, leicht sandiger Ackerboden,
35—95 cm gelber, dichter Lößlehm,
dazwischen bei 65—70 cm roter Lehm,
95—190 cm brauner Lehm,
190—240 cm graubrauner Lehm,
240—255 cm hellgraubrauner Zersatz,
tiefer als 255 cm Frischkies.

3. Hausen.

0—90 cm leicht sandiger graubrauner Boden,
90—110 cm dichter schwarzer Horizont nach unten in Zersatz übergehend,
110—140 cm grauer Zersatz,
tiefer als 140 cm Frischkies.
Grundwasserstand: 50 cm unter Profilunterkante.

4. Mindelheim.

0—70 cm graubrauner, krümeliger Boden,
70—80 cm dunkelbrauner, dichter Horizont mit zersetztem Geröll,
80—150 cm graubrauner Zersatz.
Am unteren Rand des Zersatzes linsenförmige Einschaltung von feinem mit Eisenhydroxyd überzogenem Rollkies.
tiefer als 150 cm Frischkies.
Grundwasserstand: 150 cm unter Profilunterkante.

5. Nassenbeuren.

0—40 cm krümeliger Boden mit Grasbewuchs,
40—110 cm gelber Lößlehm,
110—180 cm roter Lehm,
180—230 cm braunschwarzer, schmieriger Zersatz,
230—235 cm Grobkiesband mit gelbem Zwischensand,
tiefer als 235 cm Frischkies von stark wechselnder Korngröße.

6. Oberrieden.

0—20 cm leicht sandiger, hellbrauner Boden mit Kleebeuuchs,
20—60 cm sandiger, gelber Lößlehm,
60—70 cm gelblichbrauner Übergangshorizont mit kleinen Geröllen,
70—140 cm rotbrauner Lehm,
140—190 cm dunkelbraungrauer Zersatz,
tiefer als 190 cm Frischkies.

II. Vorbereitung und allgemeine Untersuchung der Proben.

1. Sieben.

Die an den beschriebenen Profilen genommenen 42 Proben wurden ausgebreitet und an der Luft getrocknet. Zur Trennung des Feinbodens vom Bodenskelett wurden die Böden trocken von Hand durch ein 2 mm-Sieb gesiebt. Die noch zusammenhängenden größeren Brocken wurden mit den Fingern verrieben. Die gesiebten Teile wurden gewogen.

Tabelle 1. *Ergebnis der Korngrößentrennung durch das 2 mm-Sieb.*

| Ort | Nr. der Probe | Teufe cm | < 2 mm % | > 2 mm % | Ort | Nr. der Probe | Teufe cm | < 2 mm % | > 2 mm % |
|-----------------------------|---------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| Rüpel (Altriß) | 1 | 270 | 25,7 | 74,3 | Wiedenberg (Altriß) | 8 | 260 | 29,7 | 70,3 |
| | 2 | 230 | 24,8 | 75,2 | | 9 | 250 | 29,2 | 70,8 |
| | 3 | 200 | 24,8 | 75,2 | | 10 | 240 | 59,7 | 40,3 |
| | 4 | 140 | 22,5 | 77,5 | | 11 | 230 | 51,7 | 48,3 |
| | 5 | 120 | 68,4 | 31,6 | | 12 | 165 | 50,1 | 49,9 |
| | 6 | 25 | 76,4 | 23,6 | | 13 | 120 | 72,7 | 27,3 |
| | 7 | 5 | 82,3 | 17,7 | | 14 | 90 | 99,5 | 0,5 |
| Hausen (Hauptwürm) | 18 | 185 | 17,0 | 83,0 | | 15 | 62 | 65,6 | 34,4 |
| | 19 | 140 | 18,6 | 81,4 | | 16 | 35 | 73,2 | 26,8 |
| | 20 | 120 | 26,8 | 73,2 | | 17 | 2 | 97,8 | 2,2 |
| | 21 | 90—110 | 93,0 | 7,0 | Mindelheim (Hauptwürm) | 24 | 170 | 12,6 | 87,4 |
| | 22 | 60 | 97,5 | 2,5 | | 25 | 140 | 11,4 | 88,6 |
| | 23 | 5—10 | 98,8 | 1,2 | | 26 | 80 | 28,4 | 71,6 |
| Nassenbeuren (Mittelriß) | 30 | 250 | 12,6 | 87,4 | | 27 | 70—80 | 83,8 | 16,2 |
| | 31 | 230 | 14,6 | 85,4 | Oberrieden (Mittelriß) | 28 | 50 | 88,2 | 11,8 |
| | 32 | 200 | 27,4 | 72,6 | | 29 | 5 | 93,7 | 6,3 |
| | 33 | 150 | 78,1 | 21,9 | | 36 | 200 | 18,7 | 81,3 |
| | 34 | 100 | 97,8 | 2,2 | | 37 | 170 | 23,1 | 76,9 |
| | 35 | 5 | 97,6 | 2,4 | | 38 | 100 | 64,1 | 35,9 |
| | | | | | | 39 | 60 | 61,9 | 38,1 |
| | | | | | | 40 | 40 | 90,1 | 9,9 |
| | | | | | | 41 | 17 | 98,8 | 1,2 |
| | | | | | | 42 | 5 | 98,0 | 2,0 |

2. Farbwertbestimmung.

Mit Hilfe der kleinen Farbmeßtafel nach OSTWALD wurden die Farbwerte aller lufttrockenen Proben kleiner als 2 mm festgelegt.

3. Carbonatbestimmung.

Durch CO₂-Volumenmessung nach SCHEIBLER wurde an den Proben < 2 mm der Gehalt an Carbonaten bestimmt, die durch 3-normale Salzsäure zersetzt werden.

Der nach SCHEIBLER ermittelte Carbonatgehalt stellt aber keineswegs den Gesamtcarbonatgehalt dar. Es zeigte sich im weiteren Verlauf der Untersuchungen, daß ein Teil der im Schotter vorkommenden Carbonate erst durch konzentrierte Salzsäure in normaler Versuchszeit zersetzt werden kann. Die nach SCHEIBLER ermittelten Mengen geben nur den Kalzit- und leicht löslichen Dolomitanteil wieder. Die stärker eisenhaltigen Dolomite sind in den obigen Werten nicht enthalten. Die Löslichkeit von Dolomit in Salzsäure der angegebenen Konzentration

Tabelle 2. Ergebnis der Farbwertbestimmung der Proben < 2 mm.

| Probe Nr. | Teufe | Farbwert | Probe Nr. | Teufe | Farbwert |
|---------------------|-----------|-----------|--------------------|----------|-----------|
| Profil Rüpel | | | Profil Wiedenbergl | | |
| 1 | 270 cm | 1 ec | 8 | 260 cm | 2 ec |
| 2 | 230 cm | 3 ec | 9 | 250 cm | 3 ec |
| 3 | 200 cm | 3 ec | 10 | 240 cm | 3 lg |
| 4 | 140 cm | 2 ec | 11 | 230 cm | 3 lg |
| 5 | 120 cm | 3 ie | 12 | 165 cm | 3 lg |
| 6 | 25 cm | 3 ie | 13 | 120 cm | 3 ie |
| 7 | 5 cm | 3 ig | 14 | 90 cm | 2 ie—3 ie |
| | | | 15 | 62 cm | 3 le |
| | | | 16 | 35 cm | 3 lg |
| | | | 17 | 2 cm | 3 ig |
| Profil Nassenbeuren | | | Profil Oberrieden | | |
| 30 | 250 cm | 2 ec | 36 | 200 cm | 1 ca—1 ec |
| 31 | 230 cm | 2 ec—3 gl | 37 | 170 cm | 3 ge |
| 32 | 200 cm | 2 ec—3 gl | 38 | 100 cm | 3 ng |
| 33 | 150 cm | 3 le | 39 | 60 cm | 2 ge—3 ie |
| 34 | 100 cm | 2 ie | 40 | 40 cm | 2 ie—3 ie |
| 35 | 5 cm | 3 ig—3 lg | 41 | 17 cm | 3 ie—3 lg |
| | | | 42 | 5 cm | 3 ig |
| Profil Hausen | | | Profil Mindelheim | | |
| 18 | 185 cm | 1 ec | 24 | 170 cm | 2 ec—2 ge |
| 19 | 140 cm | 4 ig | 25 | 140 cm | 3 ge |
| 20 | 120 cm | 4 ig | 26 | 80 cm | 2 ge |
| 21 | 90—110 cm | 5 nl | 27 | 70—80 cm | 4 ni |
| 22 | 60 cm | 4 ig | 28 | 50 cm | 3 ig |
| 23 | 5—10 cm | 4 ig | 29 | 5 cm | 3 li |

Tabelle 3. Ergebnis der Carbonatbestimmung an den Proben < 2 mm.

| Rüpel | | Wiedenbergl | | Nassenbeuren | | Oberrieden | | Hausen | | Mindelheim | |
|-------|----|-------------|----|--------------|----|------------|----|--------|-----|------------|----|
| Nr. | % | Nr. | % | Nr. | % | Nr. | % | Nr. | % | Nr. | % |
| 1 | 63 | 8 | 49 | 30 | 58 | 36 | 63 | 18 | 46 | 24 | 43 |
| 2 | 41 | 9 | 48 | 31 | 44 | 37 | 32 | 19 | 27 | 25 | 51 |
| 3 | 51 | 10 | 1 | 32 | 12 | 38 | 0 | 20 | 25 | 26 | 25 |
| 4 | 52 | 11 | 0 | 33 | 0 | 39 | 0 | 21 | 0 | 27 | 0 |
| 5 | 0 | 12 | 0 | 34 | 0 | 40 | 0 | 22 | 0,7 | 28 | 0 |
| 6 | 0 | 13 | 0 | 35 | 0 | 41 | 0 | 23 | 0,6 | 29 | 0 |
| 7 | 0 | 14 | 0 | | | 42 | 0 | | | | |

wurde an Dolomiten vom Lengental und aus dem Erzgebirge experimentell nachgewiesen. Von dem mikroskopisch eindeutig als Dolomit identifizierten Mineralpulver war bei 22° C nach etwa 2 Std alles in Lösung gegangen.

Von den Proben kleiner als 2 mm wurden folgende weiter untersucht:

1. Die Ackerkrume aller Profile: Probe Nr. 7, 17, 23, 29, 35, 42.
2. Die Lößlehme: Probe Nr. 14, 34, 40.
3. Die Lehme der älteren und die schwarzen bzw. braunen Horizonte der jüngeren Profile: Probe Nr. 5, 13, 33, 38, 21, 27.

4. Korngrößenbestimmung des Feinbodens (Proben < 2 mm) durch Schlämmen.

Die Aufbereitung zur Schlämmanalyse erfolgte nach der von CORRENS und SCHOTT empfohlenen Normalmethode von ODÉN. Es wurden zur Korngrößenbestimmung 5 g lufttrockene Substanz eingewogen. Eine Vergleichsprobe wurde

bei 110° C getrocknet und darauf die Gewichte der ausgeschlämmten Fraktionen bezogen. Die Proben wurden mindestens 24 Std in einer rotierenden Schüttelmaschine mit 0,01 n Ammoniakwasser geschüttelt. Anschließend wurden durch nasses Sieben die Fraktionen 2000—630 μ \varnothing und 630—200 μ abgetrennt. Der Rest wurde durch Schlämmen in Atterberg-Zylindern in folgende Fraktionen geteilt:

$< 2\mu$; 2—6,3 μ ; 6,3—20 μ ; 20—63 μ ; 63—200 μ .

Die Ergebnisse der Schlämmanalyse sind aus den im Anhang stehenden Tabellen 13, 14, 15 und Blockdiagrammen (Abb. 4—7) zu entnehmen.

Die Lößlehme 14 und 34 zeigen ein ausgeprägtes Korngrößenmaximum von 20—63 μ . Im Lößlehm 40 (Parallele zu 34) tritt neben diesem noch ein stärkeres Maximum bei 200—630 μ auf. Im Lehm ohne Lößbedeckung sind die Korngrößen gleichmäßig verteilt. Das Maximum in der Fraktion $< 2\mu$ der Probe 5 ist nur scheinbar; denn die Grenze nach unten ist bei 0,2 μ keine echte Grenze, sondern wurde so gelegt, um im Blockdiagramm auch die geringen Kaolinitwerte visuell noch gut vergleichen zu können. In den Lehmen unter Lößbedeckung erscheint ein deutliches Maximum von 20—63 μ .

III. Spezielle Untersuchungen.

Die durch die Schlämmung in 7 Korngrößenklassen aufgeteilten Proben wurden mikroskopisch, röntgenographisch und differentialthermoanalytisch untersucht.

1. Mikroskopische Untersuchung.

Mikroskopisch bestimmt wurden die Minerale von 6,3—2000 μ \varnothing . Um bei der Unterteilung der Feldspäte, aber auch bei der Unterscheidung der hellen Glimmer vom Quarz in den feinsten Fraktionen die Lichtbrechung als Hilfsmittel heranziehen zu können, wurde auf die Herstellung fester Streupräparate verzichtet und die Einbettung in Ölen von einstellbarem Brechungsindex vorgezogen. Als Einbettungsmittel wurde ein Gemisch von 2 Mineralölen mit niedrigem Dampfdruck benutzt. Der Brechungsindex der Gemische wurde mit dem ABBÉ-Refraktometer im Tageslicht gemessen.

Einbettungsmittel.

$n = 1,527$ Orthoklas alle 3 Brechungsindizes kleiner als 1,527. Albit und Plagioklas größer als 1,527.

$n = 1,541$. Der größte Teil der Plagioklase und der Albit liegen mit allen 3 Brechungsindizes unter 1,544, dem n_w des Quarzes. 1,541 wurde gewählt, um den Quarz noch deutlich sehen zu können.

$n = 1,60$ liegt in der Nähe von n_β und n_γ der Glimmer. n_w von Quarz liegt deutlich darunter.

Durch vergleichende Zählungen wurde die Menge der Feldspäte ermittelt, die zur Erreichung eines vergleichbaren statistischen Mittelwertes notwendig ist. Es zeigte sich, daß eine Menge von mindestens 1000 Körnern notwendig ist, um bei einem Feldspatgehalt von 2% reproduzierbare Werte mit einer Streuung von $\pm 0,2\%$ zu erhalten. Zur Bestimmung des Feldspatanteils wurden also grundsätzlich mindestens 1000 Körner gezählt und zwar zuerst mit dem Einbettungsmittel $n = 1,527$, dann in $n = 1,541$.

Im Präparat mit dem Einbettungsmittel $n = 1,541$ wurden dann auch alle Minerale mit n größer als 1,541 gezählt. Dabei wurde Quarz von vereinzelt noch vorkommenden basischeren Plagioklasen durch Achsenbild unterschieden. Es wurden zwischen 400 und 600 Körner bestimmt. Die Glimmer wurden in den Lößlehm in Einbettung 1,60 bestimmt und zwar wurden 1000 Körner ausgezählt. Bei den übrigen Proben erfolgte die Bestimmung der Glimmer in Einbettung $n = 1,541$ zusammen mit den übrigen Mineralen. Nur in der Fraktion 6,3–20 μ erwies sich zur sauberen Unterscheidung von Quarz die Einbettung $n = 1,60$ als unerlässlich.

Der Mineralbestand (Tabelle 13, 14, 15 im Anhang).

Qualitativ ist der Mineralbestand entsprechend der Ähnlichkeit des Ausgangsmaterials und der Gleichheit der Verwitterungsbedingungen recht einförmig: Quarz, Feldspat, Glimmer. An hochlichtbrechenden Mineralen finden sich: Granat, Turmalin, Epidot, Rutil, Hornblende, Zirkon und Staurolith. In den feinen Fraktionen der Böden kommt ein Mineral mit sehr niedriger Lichtbrechung vor. Es tritt auf meist in langgestreckten, randlich angeätzten Leisten. Die Lichtbrechung variiert von 1,430–1,435. Das Mineral ist isotrop. Es wurde als Opal bestimmt. Die maximale Menge beträgt in der Hauptfraktion 6,3–20 μ 2,7%.

Als opak wurde alles Undurchsichtige gezählt. Darunter fallen auch durchsichtige Minerale, die so stark mit Eisenhydroxyd überzogen sind, daß ihre Bestimmung nicht mehr möglich ist. In den Fraktionen 200–630 μ der Lößlehm und einiger Böden kommt das Eisenhydroxyd auch in Form von kugeligen Gebilden vor.

Die hauptsächlich in den Fraktionen 200–630 μ und 630–2000 μ auftretenden Gesteinsbruchstücke sind Rückstände von Kalken und Dolomiten, Hornsteine und feine Sandsteine.

a) *Quarz*. Der Quarz kommt größtenteils in unregelmäßig geformten Körnern mit muscheligen Bruch vor. Er ist meist glasklar und hat sehr oft andere Minerale eingeschlossen oder auf seiner Oberfläche angelagert. Der häufigste Einschluss sind Rutilnadeln. Neben Rutil kommen als Einschlüsse vor Turmalin und Zirkon. Turmalin meist in Prismen mit Endflächen an einer Seite, Zirkon in gedrungenen Prismen mit Dipyramiden. Die Oberfläche vieler Körner ist mit hochlichtbrechenden Schüppchen besetzt, die nach von ENGELHARDT als Serizit angesehen werden. Mit dem geologischen Alter der Profile nimmt die Zahl der Quarze zu, die oberflächlich trübe oder mit einer undurchsichtigen grauen bis grünbraunen Schicht überzogen sind. Sie sind oft nur noch randlich als Quarze zu erkennen.

Der Quarz macht in allen mikroskopischen Fraktionen die Hauptmenge aus, nämlich 50–60%. In der Fraktion 200–630 μ steigt der Quarzanteil in manchen Fällen bis zu 90%. Allgemein enthalten die Böden mehr Quarz als ihre Unterlage.

b) *Feldspäte* (Abb. 2 im Text). Die Feldspäte sind meist trübe und unregelmäßig geformt. Spaltbarkeit ist selten zu sehen, Achsenbilder sind meist schlecht zu erkennen. In dem Lehm 5 vom Rüpel und dem darüberliegenden Boden 7 wurden die Feldspäte in 3 Verwitterungsgrade eingestuft und je 100 Körner von den einzelnen Fraktionen ausgezählt.

Frische idiomorphe Feldspäte, die auf Neubildung hingewiesen hätten, wurden nicht gefunden. Daß die randlich angeätzten im Boden auf Kosten der allseitig

geätzt zu nehmen, ist wohl auf das Verschwinden von Überzügen zurückzuführen, die sich im Boden bei der häufigen Umlagerung und dem reduzierenden Angriff von organischen Agenzien nicht halten können.

Die Menge der Feldspäte ist in den Lehmen sehr gering und verteilt sich unregelmäßig über alle Fraktionen. Der Grund dafür ist im Ausgangsmaterial der Lehme, den unterliegenden Schottern zu suchen. Sie bestehen hauptsächlich aus Carbonatgeröllen, Sandsteinen und Hornsteinen. Der Anteil des feldspatführenden Kristallins macht nach vielen Überschlagszählungen in Aufschlüssen

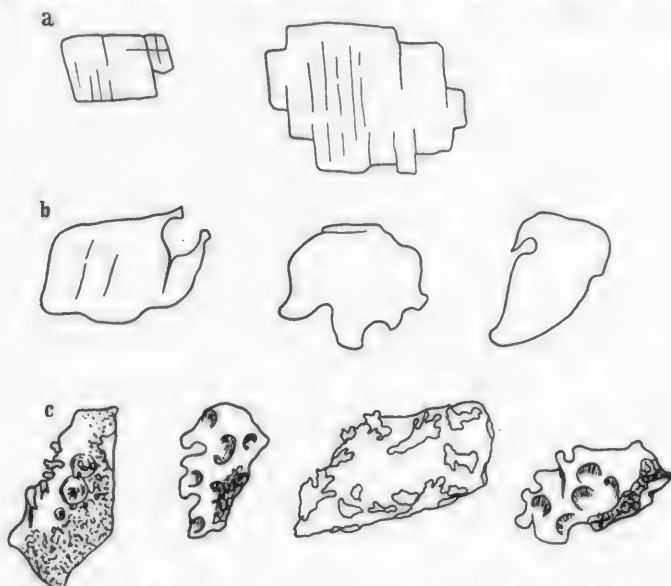


Abb. 2a—c. Feldspäte in verschiedenen Verwitterungsstadien. a Frisch, b randlich angeätzt, c allseitig geätzt und verglimmert. Doppelbrechung kleiner als bei a und b.

Tabelle 4. Verwitterungsgrad der Feldspäte.

| | Lehm | | | Boden | | |
|---------------------------------------|------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| | Fraktion | | | | | |
| | 20—63 % | 63—200 % | 200—630 % | 20—63 % | 63—200 % | 200—630 % |
| a) Frisch | 19,1 | 4,2 | — | 21,3 | 3,9 | — |
| b) Randlich angeätzt | 47,8 | 79,0 | 18,3 | 78,0 | 93,7 | 51,3 |
| c) Allseitig angeätzt und verglimmert | 33,1 | 16,8 | 81,7 | 0,7 | 2,4 | 48,7 |

der untersuchten Terrassen maximal 3% aus. Etwas mehr Feldspat führen die Lößlehme. Im Gegensatz zu den Lehmen zeigt die Mengenverteilung immer ein Maximum in der Korngrößenverteilung. Doch ist die Lage des Maximums mit den einzelnen Proben verschieden.

Die Böden enthalten wesentlich mehr Feldspäte als ihre Unterlage. Da Neubildungen nach der oben angestellten Überlegung unwahrscheinlich sind, ist der Grund hierfür nicht ohne weiteres einzusehen. Erst die später durchgeführte Übersicht über den Gesamtmineralbestand und die daraus erhellenden Regelmäßigkeiten werden diesen Sachverhalt verstehen lassen.

c) *Glimmer*: Die Glimmer wurden nach ihrem Achsenbild getrennt gezählt als einachsige, zweiachsige und fast isotrope einachsige. Sie sind selten frisch. Meist sind sie mit hochlichtbrechenden Schüppchen besetzt (genarbt), die nach VON ENGELHARDT und KUBACH als Serizit angesehen werden. Die fast isotropen Glimmer sind immer glatt und farblos; sie kommen in größeren Mengen nur in den Böden vor.

Ein Vergleich der optischen Eigenschaften der Glimmer von Probe 5, 14, 34 brachte folgendes Ergebnis:

1. Mit dem Alter der Terrasse wächst die Menge der braungrünen genarbtten auf Kosten der zartgrünen einachsigen Glimmer. Parallel damit geht eine Intensivierung des Farbtones. Pleochroismus ist nicht zu beobachten.

2. Mit dem Alter der Ablagerung wächst die Menge der Glimmer mit undulöser Auslöschung sowohl bei den einachsigen wie bei den zweiachsigen Glimmern, wobei auch die Intensität der Undulierung zunimmt.

3. Das Mengenverhältnis einachsige/zweiachsige verschiebt sich zugunsten der einachsigen.

Doch kann man von dieser Regelmäßigkeit in der Glimmerzusammensetzung verschieden alter Ablagerungen noch nicht auf einen echten Gang in der Verwitterung schließen; denn als Ursache für diese vermeintliche Regelmäßigkeit kann man auch Verschiedenheit im Ausgangsmaterial annehmen. Für eine solche Annahme spräche z.B. Probe 40, die Parallelprobe von 34. Diese stimmt nur in den Punkten 2. und 3. mit 34 überein. Gegen diese Annahme spricht, daß in keinem Fall eine Umkehr der angegebenen Abfolge beobachtet wurde.

Zur Klärung der Frage wurden aus einem 4 m mächtigen Lößprofil der Ziegelei Leinsing in Klosterbeuren 2 Proben in 1,5 und 2,5 m Tiefe entnommen. Die Arbeitshypothese hierbei war, daß die an Glimmern verschiedener Terrassen beobachteten Veränderungen auch an einem durchgehenden Verwitterungsprofil zu sehen sein müßten, wenn sie nur verwitterungsabhängig sind.

Tabelle 5. Ergebnis der Glimmeranalyse im Profil Klosterbeuren.

| | Einachsige Glimmer | | | | Zweiachsige Glimmer | | | |
|--------------------------------|--------------------|-------|--------|-------|---------------------|-------|--------|-------|
| | Fraktion | | | | | | | |
| | 20—63 | | 63—200 | | 20—63 | | 63—200 | |
| | Profiltiefe | | | | | | | |
| | 1,5 m | 2,5 m | 1,5 m | 2,5 m | 1,5 m | 2,5 m | 1,5 m | 2,5 m |
| Hell genarbt | 36% | 49% | 31% | 37% | | | | |
| Gelbgrün genarbt | 59% | 51% | 48% | 63% | | | | |
| Braungrün genarbt | 5% | — | 21% | — | | | | |
| Volle Auslöschung | 59% | 67% | 48% | 46% | 88% | 91% | 62% | 74% |
| Randliche Aufhellung | — | — | 3% | 8% | | | | |
| Undulöse Auslöschung | 41% | 33% | 49% | 46% | 12% | 9% | 38% | 26% |

Es stimmen im Gang überein:

1. Farbveränderung bei den einachsigen Glimmern.
2. Undulöse Auslöschung bei allen Glimmern.
3. Das Verhältnis einachsige zu zweiachsige.

Der Gang der undulösen Auslöschung ist außerdem noch abhängig von Korngröße und Chemismus. Bei den einachsigen Glimmern ist der Gang stärker in den feinen Fraktionen, bei den zweiachsigen in den groben Fraktionen. Im übrigen zeigen die zweiachsigen keine typischen Veränderungen.

Soweit die oben gestellte Frage, ob Unterschiede im Glimmerbestand altersverschiedener Terrassen den Verwitterungsablauf abbilden, durch einen Analogieschluß entschieden werden kann, darf sie nach dem Ergebnis von Klosterbeuren mit Ja beantwortet werden.

Als fast isotrope Glimmer wurden klare bis grünliche Glimmer gezählt, die sehr unscharf das Achsenbild von einachsigen zeigen. Unter gekreuzten Nikols bleiben sie dunkel. Ihre Lichtbrechung liegt bei 1,60. Nach FÜCHTBAUER und KUBACH wurden sie als isotropisierte Biotite gedeutet. In der Auswertung wurden sie daher zu den Biotiten gezählt.

Tabelle 6. Mengen der fast isotropen einachsigen Glimmer in Prozent des Gesamtbodens.

| | | | |
|-----------------------------------|------|---------------------------------------|------|
| Rüpel Ackerkrume | 0,66 | Mindelheim Ackerkrume | 0,54 |
| Wiedenber Ackerkrume | 0,11 | Mindelheim brauner Horizont | 0,28 |
| Nassenbeuren Ackerkrume | 2,24 | Hausen Ackerkrume | 1,20 |
| Oberrieden Ackerkrume | 1,26 | Hausen schwarzer Horizont | 0,69 |

Die Glimmer stellen neben dem Quarz den wesentlichen Gemengteil in den Lehmen und Lößlehm dar. Ihre Menge ist am größten im Lehm 5 vom Rüpel, dem Bodenprofil vom Altriß ohne Lößbedeckung. In der Hauptfraktion 20—63 μ ist sie hier sogar größer als der Quarzanteil. In den Lößlehm und auch in den unter Lößbedeckung liegenden Lehmen ist der Glimmeranteil geringer. Die Glimmermenge in den Böden ist sehr gering. Sie beträgt nur einen Bruchteil des Glimmergehaltes ihrer Unterlage.

d) *Hochlichtbrechende Minerale.* Von der Fraktion 20—63 μ der Lößlehm 14-Wiedenber, 34-Nassenbeuren, 40-Oberrieden und der Böden 23-Hausen, 29-Mindelheim, 7-Rüpel und 42-Oberrieden wurden die Schwerminerale mit Bromoform abgetrennt, in Cäda x $n = 1,61$ eingebettet und ausgezählt.

Tabelle 7. Ergebnis der Schwermineralauszählung in Prozent.

| | Probe Nr. | | | | | | |
|----------------------|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | 14 % | 34 % | 40 % | 7 % | 42 % | 23 % | 29 % |
| Epidot | 69 | 51 | 74 | 54 | 58 | 40 | 46 |
| Zirkon | 8 | 14 | 5 | 11 | 11 | 6 | 11 |
| Rutil | 13 | 15 | 10 | 11 | 3 | 8 | 4 |
| Granat | 4 | 9 | 3 | 11 | 15 | 32 | 21 |
| Turmalin | 4 | 5 | 1 | 9 | 12 | 3 | 3 |
| Hornblende | — | 5 | — | 2 | 1 | 3 | 7 |
| Apatit | 1 | — | 1 | — | — | 1 | 1 |
| Zoisit | — | — | 5 | 1 | — | 7 | 6 |
| Rest | 1 | 1 | 1 | 1 | — | — | 1 |

Eine Wägung der abgetrennten Schwerminerale war nicht möglich. Die von der Schlammung her zur Verfügung stehenden Mengen reichten gerade aus für die Herstellung eines Präparates, für eine Wägung waren sie zu gering. Um einen

Anhaltspunkt für die in den Proben enthaltene Gesamtmenge an Schwermineralen zu geben, seien die Ergebnisse der mikroskopischen Auszählung in Prozent der Gesamtprobe aufgeführt.

Tabelle 8. *Menge der Schwerminerale in Prozent der Gesamtprobe.*

| | | | |
|---|------|------------------------------|------|
| Rüpel-Lehm | 0,15 | Rüpel-Boden | 0,57 |
| Wiedenberg-Löß | 0,84 | Wiedenberg-Boden | 1,32 |
| Nassenbeuren-Löß | 0,96 | Nassenbeuren-Boden | 3,02 |
| Oberrieden-Löß | 2,88 | Oberrieden-Boden | 1,78 |
| Hausen schwarzer Horizont | 1,55 | Hausen-Boden | 1,98 |
| Mindelheim schwarzer Horizont | 0,56 | Mindelheim-Boden | 1,70 |

2. Röntgenanalyse.

Die Röntgenanalyse wurde durchgeführt an den Fraktionen kleiner als 2μ und $2-6,3\mu$. Sie sollte qualitativ Aufschluß geben über den Mineralbestand der Tonfraktionen. Das Augenmerk war dabei vor allem auf die Identifizierung der Tonminerale gerichtet. Diese lassen sich am sichersten mit den Basisinterferenzen erkennen. Es wurde deshalb an Stelle des Debye-Scherrer-Verfahrens mit Stäbchenpräparat und unorientierten Kristallen die von JASMUND beschriebene Methode mit Texturpräparaten angewandt. Sie ermöglichte in fast allen Fällen die sichere qualitative Bestimmung der Tonminerale. Die Aufnahmen wurden durchgeführt mit Cu $K\alpha$ in der Vakuumkamera $\varnothing 114,6$ mm, Belichtungszeit 4 Std bei 20 m Amp. Der Mineralbestand der Tonfraktionen ist qualitativ ziemlich gleich: Illit, Kaolinit, Feldspat, Quarz, Chlorit.

Bei der Auswertung der Aufnahmen nach BRINDLEY zeigte sich, daß die Lößlehme die besten Aufnahmen mit den schärfsten und stärksten Basisinterferenzen der Tonminerale lieferten. Bei den Böden sind die Linien scharf, aber sehr schwach. Bei den Lehmen ist in der Gegend der Basisinterferenzen von Illit und Kaolinit eine diffuse Schwärzung, die nach links und rechts scharf begrenzt ist. Die Grenze liegt an dem Ort der Basisinterferenzen dieser beiden Minerale. Vergleichende Aufnahmen mit Co-Strahlung zeigen ebenfalls diese Erscheinung. Trotz der stark rotbraunen Farbe der Lehme und der intensiv gelben der Lößlehme findet sich keine Linie, die auf die Anwesenheit von kristallisiertem Eisenhydroxyd schließen ließe.

3. Differentialthermoanalyse.

Für eine Abschätzung der Tonmineralmengen aus den Röntgenaufnahmen sind die Intensitäten der beobachteten Interferenzen der Tonminerale zu gering. Um die Tonmineralmengen wenigstens untereinander vergleichen zu können, wurden von den Fraktionen kleiner als 2μ und $2-6,3\mu$ Differentialthermoanalysen durchgeführt. Es wurde das in der Dissertation von LIPPMANN beschriebene Gerät benutzt. Die Einwaage betrug 120 mg. Zur Zerstörung von organischer Substanz wurden die Proben mit Perhydrol versetzt und nach der Behandlung an der Luft getrocknet. Bei den Böden wurde durch Wägung vor und nach der Perhydrolbehandlung der Oxydationsverlust bestimmt. Die Aufnahmen liefen zunächst mit kleiner Empfindlichkeit bis 1000°C , um die Tonminerale zu bestimmen. Nach der Abkühlung wurde mit großer Empfindlichkeit eine Aufnahme bis 600°C gemacht, um den Quarz auf Grund der endothermen Umwandlungsreaktion bei 573°C zu erfassen.

Zur quantitativen Auswertung der Aufnahmen wurden Eichmischungen hergestellt von Quarz kleiner als 2μ ; Illit kleiner als 2μ und $2-6,3\mu$; Kaolinit ungeschlämmt.

Eichmischungen.

Kaolinit + Al_2O_3 : 5, 10, 15, 20% Kaolinit.

Illit + Quarz + Al_2O_3 : 30, 40, 50, 60, 80, 100% Illit.

Quarz: 10, 20, 30, 40, 50% Quarz.

Illit-Kaolinit: 40% Illit; 5% Kaolinit; 55% Al_2O_3 .

40% Illit; 10% Kaolinit; 50% Al_2O_3 .

60% Illit; 5% Kaolinit; 35% Al_2O_3 .

60% Illit; 10% Kaolinit; 30% Al_2O_3 .

Es zeigte sich, daß die Kaolinitzacke bei dem Zusatz von 40 und 60% Illit doppelt so groß war wie die entsprechende Mischung mit Al_2O_3 als Verdünnungsmittel. Zur Kaolinitabschätzung wurden deshalb nur die Kaolinit-Illit-Eichmischungen benutzt.

Als Vergleichsillit diente der Illit von MORRIS. Er ist zwar nicht frei von Pyrit, aber er hat gegenüber dem Illit von FITHIAN den Vorteil, frei von Kaolinit zu sein.

Als Vergleichskaolinit wurde der Kaolinit von MURFREESBORO benutzt. Seine Reinheit ist von LIPPMANN mit Röntgen- und Differentialthermoanalyse nachgewiesen (LIPPMANN).

Vor der Analyse standen die Proben mindestens 4 Tage über gesättigter $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Lösung, um eine durch den Dampfdruck der Lösung definierte Wassersättigung der Probe zu erreichen. Tabelle 12 im Anhang zeigt die direkt durch Vergleich mit den Eichmischungen ermittelten Werte sowie ihre Umrechnung auf den Gesamtboden mit Berücksichtigung des Oxydationsverlustes bei den Böden.

4. Untersuchungen an der organischen Substanz.

In den Aufnahmen der Differentialthermoanalyse aller Böden erscheint neben den Reaktionen von Illit und Kaolinit eine kleine endotherme Zacke zwischen 190 und 200° C und eine größere exotherme bei 450° C. Manchmal sind beide Zacken auch doppelt ausgebildet. Die Schärfe der Zacken deutet auf kristalline Substanz (Abb. 3).

In der Aufnahme eines nicht mit Perhydrol vorbehandelten Bodens sind die Zacken nicht mehr zu sehen. Die Aufnahme zeigt eine sich von 200–500° C erstreckende exotherme Reaktion, wie sie allgemein durch die Verbrennung amorpher organischer Substanzen hervorgebracht wird. Die unbekannte kristalline Substanz wird also entweder bei der oxydativen Vorbehandlung neu gebildet oder ihre charakteristischen Thermoreaktionen werden von der Verbrennung der amorphen organischen Substanz überdeckt.

Es wurden deshalb mögliche Oxydationsprodukte von organischen Ca- und Fe-Salzen, den in den Böden weitest verbreiteten organischen Verbindungen mit anorganischen Kationen, mit Röntgenstrahlen und DTA untersucht: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Calciumperoxyhydrat, Calciumoxalat mit einem Wasser (Whewellit), Eisenoxalat, Calciumhumat. Letzteres war im agrikulturchemischen Institut der Universität durch Oxydation einer alkalischen Hydrochinonlösung und nachfolgende Fällung mit CaCl_2 -Lösung dargestellt worden und wurde für die Versuche zur

Verfügung gestellt, wofür Herrn Professor SCHEFFER an dieser Stelle herzlich gedankt sei. Die DTA-Aufnahmen von $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Ca-peroxydhydrat, CaCl_2 , Fe-oxalat zeigen nicht die bei den Böden beobachteten Reaktionen. Diese treten

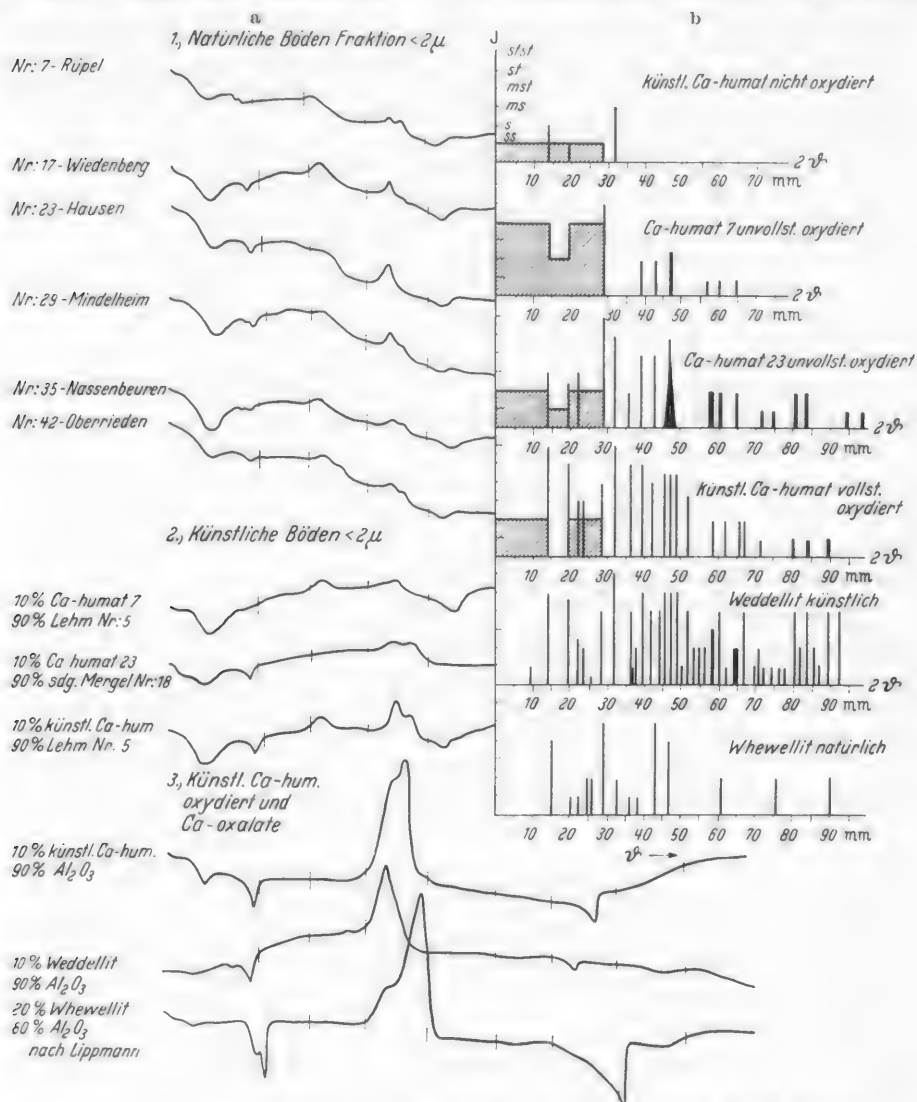


Abb. 3a u. b. a Differentialthermoanalysen und b Röntgendiagramme von Böden, Humaten, Whewellit und Weddellit.

nur auf bei dem aus Hydrochinon dargestellten Calciumhumat, das der Kürze halber im weiteren Verlauf einfach Chinonhumat genannt sei, und dem Whewellit. Bei diesen Aufnahmen war das Chinonhumat vorher mit Perhydrol oxydiert worden. Aufnahmen des nicht oxydierten Humats zeigen keine endotherme Zacke und 2 exotherme Reaktionen mit Maxima bei 350 und 450° C. Die anfängliche Vermutung, daß im Chinonhumat Whewellit neben amorpher Substanz vorhanden

sei, wurde durch die Röntgenaufnahme nicht bestätigt. Die beobachteten Interferenzen stimmen nicht überein.

Auch bei genauer Durchsicht einiger Böden unter dem Mikroskop konnte kein Whewellit gefunden werden.

Um nun positiv zwischen den beiden Möglichkeiten Calciumhumat oder Whewellit zu entscheiden, wurden aus dem ältesten Boden 7 und dem jüngsten Boden 23 die Huminsäuren ausgezogen und die Humate oder humatähnlichen Stoffe künstlich aus diesen dargestellt.

Die Huminsäuren wurden nach 2 Methoden ausgezogen:

1. Mit 0,1 m Natriumpyrophosphatlösung bei Zimmertemperatur, Einwirkungsdauer 24 Std (SCHLICHTING).

2. 0,5 n Natronlauge nach SPRINGER, einstündiges Kochen (THUN).

Die Darstellung von Ca-humat oder Ca-humatähnlicher Stoffe aus diesen Huminsäurelösungen wurde auf dreierlei Weise versucht:

1. Anlagerung von Calcium an frisch gefällte Huminsäure, die erhalten wurde durch Ansäuern der Huminsäurelösung mit 2 n Salzsäure durch Suspension der Huminsäure in 2 n CaCl_2 -Lösung. Die Aufnahme zeigt eine sehr kleine Zacke bei 190° C und zwei breite exotherme Reaktionen mit Maxima bei 350 und 450° C.

2. Fällung des Calciumhumats mit 2 n CaCl_2 -Lösung aus der mit Salzsäure neutralisierten Huminsäurelösung. Die Niederschlagsmenge ist gering. Das Filtrat hellt nur wenig auf. In der Differentialthermoanalyse ist die endotherme Zacke klein und scharf, die exotherme diffus.

3. Das noch dunkle Filtrat der CaCl_2 -Fällung wird angesäuert mit Salzsäure. Sofort fällt die Hauptmenge aus, das Filtrat hellt auf. Der Niederschlag bleibt eine Woche mit der calciumhaltigen Mutterlauge zusammen stehen. Die DTA zeigt bei dem aus Boden 7 dargestellten Calciumhumat eine sehr kleine endotherme und exotherme Reaktion. Im Gegensatz zu der des Bodens ist sie nur einfach. Der Boden 23 zeigt eine starke einfache endotherme und eine doppelte exotherme Reaktion. In allen 3 Fällen wurden die Präparate vor der Oxydation chlorfrei gewaschen.

Die Röntgeninterferenzen der nach Methode 3 dargestellten und mit Perhydrol oxydierten Humate stimmen mit denen des künstlichen Chinonhumates überein. Die stärksten Linien bei $d = 6,46 \text{ \AA}$ und $2,82 \text{ \AA}$ finden sich auch in den Röntgenaufnahmen der meisten nicht oxydierten Böden. Sie sind aber hier infolge der geringen Konzentration der Humate sehr schwach. Die Huminsäure zeigt keine Röntgeninterferenzen.

Die mikroskopische Untersuchung der Calciumhumate brachte folgendes Ergebnis:

Das künstliche Chinonhumat, vollständig oxydiert, besteht großenteils aus farblosen scheibchenförmigen Aggregaten, die unter gekreuzten Nicols das BREWSTERsche Kreuz (Aggregatdoppelbrechung) zeigen. Optischer Charakter bei 110° C und bei Zimmertemperatur positiv. Brechungsindex 1,50—1,536. Daneben finden sich auch unregelmäßige Aggregate und Aggregathaufen. Größere Einzelblättchen sind selten. Sie zeigen die optischen Eigenschaften der Aggregate, $n = 1,52$ —1,54. Nach Erhitzen auf 150° C sind die Aggregate negativ, die Lichtbrechung nicht merklich verändert.

Das nicht oxydierte Chinonhumat besteht aus braunen Körnern und Aggregaten von ähnlicher Form wie das oxydierte. Dünne, nicht sehr intensiv gefärbte Körner zeigen dieselbe Anisotropie wie die Aggregate des oxydierten Humats, verschleiert durch dunkelbraunen amorphen Belag. Die Lichtbrechung ist wesentlich höher und einheitlicher. Sie liegt bei 1,62.

Gefälltes Calciumhumat 7 (Fällung durch Ansäuern der Calciumchlorid-huminsäurelösung):

Die Teilchen sind größer und heller als beim nichtoxydierten Chinonhumat. Die Lichtbrechung liegt bei 1,52. Häufig sind Aggregate von runden Scheibchen, die unter gekreuzten Nicols Aggregatdoppelbrechung und positiven Charakter zeigen. Ähnliche runde Aggregate mit den angegebenen optischen Eigenschaften finden sich auch in den oxydierten Böden. Nach diesen Beobachtungen enthält das künstliche und das natürliche nichtoxydierte Calciumhumat, wie schon aus der DTA und den Röntgenaufnahmen gefolgert wurde, neben amorphen Bestandteilen auch Kristalle. Die Perhydroloxydation greift nur die amorphe Substanz an. Die Kristalle werden bei der Behandlung nicht verändert. Die DTA des Chinonhumats ist dieselbe wie die von Whewellit, doch lassen sich die Röntgenlinien nicht vergleichen. Die optischen Daten weisen auf das Trihydrat des CaC_2O_4 hin. Auf Anregung von LIPPMANN wurden daher die Eigenschaften von Weddellit- $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ untersucht. Weddellit wurde von BANNISTER und HEY benannt nach dem Weddellmeer in der Antarktis, in dessen Sedimenten sie ihn entdeckten. Nach v. PHILIPPSBORN wurde das Trihydrat hergestellt durch Einbringen von 25 cm^3 1/20 n Ammonoxalat in 500 cm^3 menschlichen Harn bei Zimmertemperatur. Nach 10 min wurde mit dem Filtrieren begonnen, das sich infolge der geringen Teilchengröße des Niederschlags über 1 Std hinzog. Die mikroskopische Untersuchung des Präparats zeigte die Reinheit der Fällung. Es waren nur die von v. PHILIPPSBORN beschriebenen briefkuvertförmigen Kristalle zu sehen mit Brechungsindizes von 1,52—1,54 (die dritte Dezimale wurde nicht mehr bestimmt). Whewellit trat erst auf nach Erhitzen auf 200°C in den von v. PHILIPPSBORN beschriebenen Schnüren, wobei die äußere Form des Weddellits erhalten blieb.

Die Röntgeninterferenzen von Weddellit stimmen mit denen des vollständig oxydierten Chinonhumats und denen der unvollständig oxydierten natürlichen Humate weitgehend überein. Die DTA einer 10%igen Weddellitmischung läßt sich gut vergleichen mit der 10%igen Mischung des künstlichen vollständig oxydierten Chinonhumats. Die endotherme Zacke bei 200°C ist eine Folge von Kristallwasserabgabe. Die exotherme Zacke mit Maximum bei 450°C wird durch die Verbrennung von Oxalat hervorgerufen. Eine Erhitzung des Chinonhumats auf 500°C ergab als Verbrennungsrückstand CaCO_3 und geringe Mengen kohligter Substanz. Demzufolge zeigt die endotherme Zacke bei 700 — 750°C den Zerfall des bei der Verbrennung gebildeten Carbonats in CaO und CO_2 an.

Um einen Hinweis auf das Molekulargewicht des vollständig oxydierten Chinonhumats zu bekommen, wurde der Glühverlust bestimmt nach 3stündigem Glühen bei 800°C . Bei der bei 110°C konstant getrockneten Substanz betrug er 68,5%. Das entspricht einem Restgehalt von CaO von 31,5%. Daraus läßt sich ein Molekulargewicht der Ausgangssubstanz von 178,03 g errechnen. Wird die Substanz bei 90°C konstant getrocknet, so ist der Glühverlust etwas größer. Er

beträgt 69 und 69,5% bei 2 Bestimmungen. Dem entspricht ein Restgehalt von CaO von 31,0 und 30,5%, ein berechnetes Molgewicht der Ausgangssubstanz von 180,95 und 183,88 g-Mittelwert 182,42 g. Das berechnete Molgewicht von Weddellit ist 182,15. Der geringere Wert der ersten Bestimmung ist darauf zurückzuführen, daß ein Teil des Kristallwassers schon bei 90° C ausgetrieben wird (v. PHILIPPSBORN). Ein chemischer Nachweis des Oxalats, die Entfärbung einer Permanganatlösung durch eine schwefelsaure Oxalatlösung, fiel positiv aus bei nichtoxydierten Böden und Humaten wie auch bei den oxydierten Proben. Doch reduzieren auch andere organische Substanzen eine Permanganatlösung.

Tabelle 9. Beobachtete Röntgeninterferenzen.

| Weddellit | | | Humate oder humatähnliche Stoffe | | | | | | | |
|--------------------|------|-------------|----------------------------------|------|--------|--|------|---|---|----|
| | | | Künstlich vollständig oxydiert | | | Ausgezogen aus 23, unvollkommen oxydiert | | Ausgezogen aus 7, unvollkommen oxydiert | | |
| 2 \varnothing mm | I | d (Å) | 2 \varnothing mm | I | d (Å) | 2 \varnothing (mm) | I | 2 \varnothing (mm) | I | |
| 9,4 | ss | 9,4082 | | | | | | | | |
| 13,7 | stst | 6,4634 | 13,7 | stst | 6,4634 | 13,7 | s | | | |
| 19,5 | st | 4,5521 | 19,5 | st | 4,5521 | 19,5 | ss | | | |
| 22,0 | smst | 4,0401 | 22,1 | s | 4,0220 | 22,1 | s | | | |
| 23,5 | s | 3,7855 | 23,5 | s | 3,7855 | | | | | |
| 25,5 | sss | 3,4930 | | | | | | | | |
| 28,2 | mst | 3,1644 | 28,4 | mst | 3,1426 | 28,6 | stst | 28,6 | | st |
| 31,6 | stst | 2,8312 | 31,7 | stst | 2,8225 | 31,6 | st | | | |
| 36,2 | mst | 2,4813 | 36,1 | mst | 2,4880 | 35,6 | s | | | |
| 37,5 | s | 2,3982 | | | | | | | | |
| 39,4 | st | 2,2869 | 39,2 | st | 2,2981 | 39,1 | mst | 39,2 | | s |
| 41,8 | mst | 2,1609 | 41,7 | mst | 2,1659 | 42,6 | mst | 43,1 | | s |
| 44,0 | mst | 2,0579 | | | | | | | | |
| 45,6 | st | 1,9893 | 45,5 | mst | 1,9935 | Band mit Max 47,7 | | 47,7 | | |
| 47,3 | st | 1,9217 | 47,3 | mst | 1,9217 | | | | | |
| 49,0 | st | 1,8589 | 48,9 | mst | 1,8625 | | | | | |
| 50,2 | ss | 1,8173 | | | | | | | | |
| 51,7 | mst | 1,7680 | 51,7 | s | 1,7680 | | | | | |
| 53,3 | s | 1,7217 | | | | | | | | |
| 54,7 | s | 1,6779 | | | | | | | | |
| 56,1 | s | 1,6393 | | | | | | | | |
| 57,7—58,4 | mst | 1,598—1,580 | 58,2 | ss | 1,5851 | 57,0 | s | 57,2 | | ss |
| 59,9 | mst | 1,5441 | | | | | | | | |
| 61,7 | ss | 1,5033 | 61,5 | ss | 1,5077 | 60,7 | s | 60,7 | | ss |

I = Intensität, stst = sehr stark, st = stark, mst = mittelstark, ms = mittelschwach, s = schwach, ss = sehr schwach.

Die Übereinstimmung in den optischen, röntgenographischen und thermischen Daten sowie im Molgewicht lassen die Annahme der Identität von Weddellit und dem Endprodukt der Chinonhumatoxydation mit Perhydrol berechtigt erscheinen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Weddellit neben anderen Bildungsweisen auch entsteht im Laboratorium bei der Darstellung von Calciumhumaten durch Oxydation von Ca-gesättigten Chinonpolymerisaten im Sauerstoffstrom, in der Natur bei der Bildung von Calciumhumaten. In beiden Fällen ist er das Endprodukt der Perhydroloxydation des Humats.

Reaktionen in der DTA. Endotherme Reaktion je nach Konzentration schwankend zwischen 190 und 200° C. Bei kleinen Konzentrationen liegt sie näher an 190, bei größeren näher an 200° C. Exotherme Reaktion bei 450° C konzentrationsunabhängig.

5. Das Eisenhydroxyd.

In den Lehmen und Lößlehmen wurde der Gehalt an freiem Eisenhydroxyd bestimmt. Durch 4%ige $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ -Lösung wurde das Eisen nach DEB bei 50° C in Lösung gebracht, aus der Lösung als Sulfid gefällt, das Sulfid mit heißer 2 n Salzsäure gelöst und das Eisen aus der Lösung mit Ammoniak bei 60–70° C als Eisenhydroxyd gefällt, gegläht und als Fe_2O_3 gewogen.

Tabelle 10. *Ergebnis der Bestimmung der freien Eisenhydroxyde.*

| 1. Lehme | | | 2. Lößlehme | | |
|-----------|---------------------------|-----------|-------------|---------------------------|-----------|
| Probe Nr. | % Fe_2O_3 | | Probe Nr. | % Fe_2O_3 | |
| 5 | 3,3 | Altriß | 14 | 2,8 | Altriß |
| 13 | 3,1 | Altriß | 34 | 1,3 | Mittelriß |
| 15 | 3,4 | Altriß | 40 | 1,8 | Mittelriß |
| 33 | 4,3 | Mittelriß | | | |
| 38 | 4,6 | Mittelriß | | | |

In den Böden wurde das Fe-Hydroxyd nur qualitativ bestimmt. Es zeigte sich, daß alle Böden, auch der im Grundwasserbereich stehende von Hausen, freies Eisenhydroxyd enthalten in der Größenordnung bis zu 1%. Das Eisenhydroxyd dürfte als amorphes Hydroxyd vorliegen.

Denn 1. es wurden in keinem Fall Röntgeninterferenzen beobachtet.

2. Auch in den mikroskopischen Fraktionen konnte kein kristallisiertes Eisenoxyd oder -hydroxyd gefunden werden.

3. Bei der Oxydation der Bodenproben mit Perhydrol ist bei stark eisenhaltigen Proben eine heftige Oxydationskatalyse zu beobachten, die sich äußert in heftigem Aufbrausen und starker Wärmeentwicklung. Dieselbe Oxydationskatalyse ruft ein nach HÜTTIG und GARSIDE künstlich dargestelltes Eisenhydroxydgel hervor, dessen röntgenamorpher Zustand durch Röntgenaufnahmen bewiesen ist. Durch Röntgen- und Differentialthermoanalyse als kristallin nachgewiesenes Nadeleisenerz reagiert auch in analysenfeiner Verteilung nicht mit dem Wasserstoffperoxyd.

Auf den Röntgenaufnahmen sind keine Interferenzen von Eisenhydroxyd oder Oxyd zu beobachten. Auf den Aufnahmen der Differentialthermoanalyse aber ist bei einmaliger Oxydation von eisenhaltigen Bodenproben eine breite exotherme Reaktion mit Maximum bei 350° C zu sehen. Diese Zacke zeigt eine deutliche Abhängigkeit vom Eisenhydroxydgehalt. Man könnte deshalb vermuten, daß sie durch die Umwandlung von amorphem Eisenhydroxyd in kristallines Oxyd hervorgebracht wird.

Zur Klärung dieser Frage wurden folgende Wege beschritten:

1. Vergleich von DTA-Aufnahmen von 10%igem Chinonhumat mit Eisenhydroxydzusatz vor und nach der Oxydation.

Ergebnis. Bei der zusammen mit Eisenhydroxyd oxydierten Probe ist die breite exotherme Reaktion bei 350° C nach dreimaliger Oxydation vollkommen

verschwunden. Die Oxalatreaktionen sind stark und scharf. Bei Eisenzusatz nach der Oxydation ist die exotherme Reaktion noch schwach vorhanden. Die Oxalatreaktionen sind schwach und verwaschen.

Verwendet man an Stelle von Al_2O_3 als Verdünnungsmittel verschiedene Tonmineral-Quarz-Gemische, so ist derselbe Effekt zu beobachten.

Daraus folgt, daß die exotherme Reaktion zwischen 200 und 400° C durch organische Substanz hervorgerufen wird, die bei der Perhydroloxydation nicht vollkommen oxydiert wurde. Denn das künstliche Eisenhydroxyd für sich allein gibt in 10% iger Mischung keine Reaktion. Außerdem dürfte durch die Perhydroloxydation die Fe-hydroxydreaktion nicht beeinflußt werden.

2. Vergleich von Differentialthermoanalysen von natürlichen Böden mit und ohne Zusatz von Eisenhydroxyd.

Es wurden die Böden 7 und 21 verglichen unter den gleichen Bedingungen wie oben. Das Ergebnis ist gerade umgekehrt. Die Gegenwart von 10% Eisenhydroxyd bei der Oxydation von Probe 21, einer von Natur eisenarmen Probe, bewirkt eine deutliche Minderung der Oxydation. Bei der Probe 7 unterdrückt ein Zusatz von 20% Eisenhydroxyd die Oxydation fast vollkommen.

3. Vergleich von Differentialthermoanalysen von Mischungen natürlicher aus dem Boden ausgezogener Humate mit Tonmineral-Quarz-Gemengen.

Der Zusatz von 10% Eisenhydroxyd bewirkt eine sehr starke Minderung der Oxydationswirkung. Auch bei zweimaliger Oxydation ist die exotherme Reaktion mit Maximum bei 300° C noch stark, während ohne Zusatz von Eisenhydroxyd die Kurve vollständig eben verläuft.

4. Durch wiederholtes Oxydieren läßt sich die exotherme Reaktion in den Böden, Lehmen und Lößlehen vollständig beseitigen.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Die in der Differentialthermoanalyse beobachtete exotherme Reaktion von 200—400° C mit Maximum bei 300—350° C wird hervorgebracht durch amorphe organische Substanz, die bei der oxydativen Vorbehandlung nicht zerstört worden ist. Bei den vorliegenden Böden wirkt bei der Oxydation anwesendes Eisenhydroxyd der vollständigen Verbrennung der amorphen organischen Substanz entgegen, während die Oxydation der Chinonhumate bei Gegenwart von Eisenhydroxyd in jedem Fall vollständiger ist. In welcher Richtung die Oxydation der organischen Substanz durch die Anwesenheit von Eisenhydroxyd katalytisch beeinflußt wird, hängt also auch ab von der zu oxydierenden organischen Substanz.

IV. Auswertung.

Die Ergebnisse der Mineralbestimmung wurden bei den Proben 5, 14, 34, 40 nach CORRENS graphisch in Blockdiagrammen dargestellt. Zur Sichtung des ausgebreiteten Analysenmaterials wurden die absoluten Mengen und Mengenverhältnisse der Hauptminerale in der beiliegenden Auswertungstabelle (Tabelle 11 im Anhang) dargestellt. Daraus ist zu entnehmen:

a) Quarz. In den Lößlehen nimmt der Gesamtquarz mit dem Alter stark ab. Dafür nimmt der Glimmer zu. Die Abnahme beträgt vom jüngeren zum älteren Riß etwa ein Drittel.

Während im jüngeren Riß das Quarzmaximum noch stark nach den mittleren und groben Fraktionen hin auseinandergezogen ist, tritt in dem alten Lößlehm 14 das Maximum in der Fraktion $6,3-20\mu$ scharf hervor.

Denselben Gang zeigt das Vergleichsprofil Klosterbeuren. Der Quarz nimmt von 2,5 zu 1,5 m Teufe um 20% seines ursprünglichen Gehaltes ab, das Nebenmaximum in der Fraktion $200-630\mu$ verschwindet. Der Quarzgehalt nimmt zu in den Fraktionen kleiner als 20μ .

In den *Lehmen* ist der Quarzanteil der Proben unter Lößbedeckung ungefähr gleich. In dem lößfreien Lehm vom Rüpel dagegen ist der Quarzgehalt um 30% geringer. Die Fraktion $2-6,3\mu$ zeigt bei den Lehmen unter Löß eine deutliche Zunahme des Quarzanteils mit dem Alter. In der Fraktion kleiner als 2μ ist dieser Gang verwischt, weil die Mengen schon an der Grenze der Nachweisbarkeit mit der DTA liegen, weshalb sich die Streuung schon stark bemerkbar macht. Auch in den Tonfraktionen ist der Unterschied zwischen den Lehmen mit und ohne Lößbedeckung deutlich. In dem Lehm vom Rüpel sind 2,6% Quarz in den Tonfraktionen, in dem vom Wiedenbergr von der gleichen Terrasse, aber unter Löß, 7%.

In den *Böden* ist der Quarzgehalt gleichmäßig bei 65—75%. Er ist bedeutend höher als der ihrer Unterlage.

Die *schwarzen Horizonte* der jüngsten Profile enthalten merklich weniger Quarz als die Böden. Sie liegen beide im gleichen Schotterverband mit einer Nord-süd-entfernung von 7 km. Das südlich liegende Profil Mindelheim enthält 41%, das Profil Hausen 57% Quarz. Der Grund für die Differenz im Quarzgehalt, wie im gesamten Aufbau, liegt wohl in den unterschiedlichen Verwitterungsbedingungen infolge des verschieden hohen Grundwasserstandes. Im Profil Mindelheim ist die Entwicklung schon weiter fortgeschritten als in Hausen.

b) *Feldspat*. Der Feldspatgehalt nimmt in den *Lößlehm*en mit dem Alter ab. Ganz deutlich ist das in dem Vergleichsprofil Klosterbeuren. Abnahme um 35% des ursprünglichen Gehaltes.

Bei den Lehmen ist kein Gang zu sehen; der Wechsel im Feldspatgehalt geht parallel dem Feldspatgehalt des Zwischenmittels der Gerölle, auf denen die Lehme liegen.

In den *Böden* ist der Feldspatanteil allgemein wesentlich größer als in ihrer Unterlage. Der Vergleich der Differenz mit dem Feldspatgehalt der Unterlage zeigt eine deutliche Beziehung zum Alter. Bei dem jüngsten Boden ist noch eine schwache Abnahme gegenüber seiner Unterlage zu sehen. Die Zunahme findet in den Böden Wiedenbergr und Nassenbeuren nur in den groben und mittleren Fraktionen statt ($600-20\mu$), in der feinen Fraktion nimmt der Feldspat ab. In dem ältesten Boden, dem vom Rüpel, erstreckt sich die Zunahme auf alle mikroskopischen Fraktionen, doch liegt das Schwergewicht in $200-630\mu$ und $20-63\mu$. Beim Boden Oberrieden liegt die Hauptzunahme in der Fraktion $20-63\mu$.

Auf Grund des am Profil Rüpel durchgeführten Vergleichs der Feldspäte des Bodens mit denen des Lehmes besteht kein Grund zur Annahme von Neubildung oder Fremdzufuhr. Die Zunahme ist nur relativ. Wie das Verhältnis Gesamtglimmer/Gesamtfeldspat zeigt, entspricht der Zunahme an Feldspat eine noch viel stärkere Abnahme der Glimmer. Allerdings beschränkt sich diese Abnahme mit ihrem Hauptanteil auf die Korngröße von $20-200\mu$. Die beobachtete, zum

Teil recht starke Zunahme in der Fraktion $200-630\mu$ läßt sich damit nicht erklären. Hier überlagert sich dem Vorgang der Glimmerverwitterung noch ein zweiter, den schon v. ENGELHARDT und HUFFMANN bei dem Studium von Bodenprofilen beobachtet haben — die Abhängigkeit der Feldspatverwitterung von der Korngröße. Die großen Kristalle und Kristallbruchstücke sind für die Verwitterungslösungen schwerer angreifbar. Sie zerfallen nicht in dem Maß in kleinere, wie die kleinsten durch Auflösung verschwinden.

Den umgekehrten Vorgang zeigt der jüngste Boden, der von Hausen, und das Vergleichsprofil Klosterbeuren. Der Hauptabnahme der Feldspäte in der Fraktion $200-630\mu$ entspricht eine Hauptglimmerzunahme in $6,3-20\mu$. Der Vergleich mit den anderen Profilen legt den Schluß nahe, daß die Vorbedingung für eine Glimmerabnahme und Feldspatzunahme in der Ackerkrume ein ausreichend der atmosphärischen Verwitterung zugänglicher Untergrund ist. In einem solchen sind die Glimmer infolge der erhöhten Kohlensäureproduktion schon so stark zersetzt, daß ihr Abbau im Boden den der Feldspäte überwiegt. Bei dem Boden von Hausen sind diese günstigen Verwitterungsbedingungen infolge des hohen Grundwasserstandes erst über dem schwarzen Horizont erreicht. Infolgedessen läuft hier der in den anderen Böden im Untergrund ablaufende Prozeß noch an der Oberfläche. Das Verhältnis Orthoklas/Plagioklas scheint in den Lößlehmen und Lehmen mit dem Alter abzunehmen. Doch kann nicht eindeutig gesagt werden, daß das eine Folge von verschiedener Verwitterungsbeständigkeit ist; denn das Orthoklas/Plagioklas-Verhältnis des Ausgangsmaterials ist nicht bekannt. Im Vergleichsprofil Klosterbeuren bleibt das Verhältnis konstant. Beim Vergleich des Orthoklas/Plagioklas-Verhältnisses im Boden mit dem des Untergrundes zeigt sich aber eine deutliche Zunahme des Orthoklases gegenüber dem Plagioklas. Nur in dem Boden von Hausen ist das Verhältnis konstant geblieben. Damit findet die auch schon von anderen Autoren (HUFFMANN) beobachtete größere Verwitterungsbeständigkeit des Orthoklases ihre Bestätigung. Die Konstanz im Vergleichsprofil Klosterbeuren und im Boden von Hausen gibt einen Hinweis auf die Dauer und Intensität der Verwitterung, die notwendig sind, um die Unterschiede deutlich hervortreten zu lassen.

c) *Glimmer*. Der Glimmeranteil nimmt mit dem Alter in den Lößlehmen und in den Böden zu. In den Lehmen schwankt er um einen Mittelwert von 22%. Die Bestätigung für die Altersabhängigkeit der Glimmerzunahme gibt das Profil Klosterbeuren. Es zeigt von unten nach oben eine Glimmerzunahme von etwa 25% des ursprünglichen Bestandes. Parallel dieser Zunahme des Gesamtglimmers geht eine Verschiebung des Verhältnisses der einachsigen zu den zweiachsigen zugunsten der einachsigen. In den Böden liegt das Verhältnis unabhängig von dem des Untergrundes immer auf der Seite der einachsigen.

Außerdem findet sich in den Böden ein größerer Anteil fast isotropisierter Glimmer.

Die Veränderung der Biotite mit zunehmender Verwitterungsdauer decken sich mit den von WALKER beschriebenen: Auftreten von zart gelbgrün gefärbten Schüppchen an der Oberfläche, die über gelb nach rotbraun gehen infolge verstärkter Anlagerung von Eisenhydroxyd mit zunehmender Verwitterungsdauer. Ein Vergleich des Verwitterungsganges in dem Profil Klosterbeuren zeigt die Unzulässigkeit der Annahme von Umwandlung des zweiachsigen in einachsigen

Glimmer; denn die Menge der zweiachsigen wächst ebenfalls von unten nach oben. Die Hauptanreicherung der einachsigen liegt in den Fraktionen $6,3\text{--}20\mu$ und $20\text{--}63\mu$. Die Frage nach der Herkunft der einachsigen Glimmer muß wegen Mangel an vergleichbaren Übergangsgliedern offen bleiben.

d) *Tonminerale*. Die Tonmineralmengen nehmen in den Lößlehmen mit dem Alter zu. Eine Zunahme von unten nach oben zeigt auch das Vergleichsprofil Klosterbeuren. In den Lehmen und Böden streuen die Tonmineralmengen richtungslos. Doch ist der Tonmineralgehalt der Böden stets geringer als der des Untergrundes. Der Grund für die starke Streuung liegt beim Illit. Er findet sich als einziges Tonmineral in natürlich verwitterten Kalkrückständen des Lehmes vom Rüpel, die mit Hilfe von Dünnschliffen, Röntgenaufnahmen und Differentialthermoanalyse untersucht wurden. Zu den Schwankungen im Ausgangsmaterial kommt noch die relative Unempfindlichkeit der zur Abschätzung benutzten Zacke bei 100°C . Das Vergleichsprofil zeigt jedoch, daß bei gleichem Ausgangsmaterial die Ungenauigkeit der Illitbestimmung einen verwitterungsabhängigen Gang nicht verschleiern kann. Der Kaolinit gibt die Altersabhängigkeit mit großer Genauigkeit. Der Grund dafür dürfte darin zu suchen sein, daß er zum größten Teil innerhalb des Profils neu entstanden ist. In den untersuchten Carbonatrückständen war kein Kaolinit zu finden.

e) *Rest der Tonfraktion*. Bei der Bestimmung der Tonminerale bleibt ein nicht erfaßter Rest, der bis zu 50% der Tonfraktion betragen kann. Eingerechnet in diesen Rest sind die durch Röntgenaufnahmen nachgewiesenen Feldspäte und der maximal 5% betragende Weddellitanteil. Nimmt man als Anhaltspunkt für die Menge der Feldspäte den Feldspatgehalt der kleinsten mikroskopisch untersuchten Fraktion $6,3\text{--}20\mu$, so dürfte der Feldspatanteil der Tonfraktionen maximal 1% betragen. Das wird auch erhärtet durch die geringe Intensität der beobachteten Röntgeninterferenzen. Eisenhydroxyd dürfte auch nicht mehr als 1% enthalten sein; denn die Gesamtmenge des durch Bleichen herausgelösten Eisenhydroxyds beträgt maximal 3% des Gesamtbodens. Dabei geht ein großer Teil auf Kosten der Eisenkrusten von mikroskopisch bestimmbar Mineralen. Außerdem kommt die Summe der bestimmten Minerale gerade der Proben mit hohem Eisenhydroxydgehalt am nächsten an 100% der Tonfraktion. Es kann nur festgestellt werden, daß der Restanteil in dem Vergleichsprofil Klosterbeuren von unten nach oben stark zunimmt, daß er bei den Lehmen und Lößlehmen geringer ist als bei den Böden und schwarzen Horizonten. Nach dem Rest des breiten exothermen Rückens in der DTA zu urteilen, kann die nach der Oxydation übriggebliebene organische Substanz höchstens 1% betragen. Der naheliegenden Vermutung, daß die Bezugstonminerale verglichen mit den Tonmineralen der Böden zu große Reaktionen zeigen, stehen Schätzungen bei den Lehmen und Lößlehmen entgegen, die 90% kristallines Material in der geschätzten Tonfraktion ergeben. Die noch fehlenden 10% liegen aber noch in der Streubreite des Illit. Es ist auch nicht gut möglich, bei der Gleichförmigkeit der übrigen Verwitterungsprodukte eine starke Variation in der Reaktionsfähigkeit der vorkommenden Tonminerale anzunehmen, zumal die Restdifferenz innerhalb der gleichen Probe zwischen den 2 Fraktionen kleiner als 2μ und $2\text{--}6,3\mu$ schon ganz erheblich ist und durchaus nicht immer in die gleiche Richtung weist. Opal kann auf Grund von mikroskopischen Untersuchungen der Fraktionen kleiner als 2μ und $2\text{--}6,3\mu$

einiger Bodenproben als Lückenbüßer ausgeschlossen werden. Er ist in $2-6,3\mu$ wesentlich seltener als in $6,3-20\mu$, in kleiner als 2μ wurde er nicht mehr beobachtet. Der Restanteil zeigt einen schwachen, doch stetigen Gang, wenn seine Summe in Prozent der oxydierten Tonfraktionen (kleiner als $2\mu + 2-6,3\mu$) ausgedrückt wird.

1. Die Böden von den jungen zu den alten: (23) 35%, (29) 32,5%, (35) 30%, (42) 30%, (17) 27,5%, (7) 20%.

2. Die Lößlehme: (40)—22,5%, (34)—20%, (14)—12,5%.

Trotz aller durch die relative Unsicherheit in der Abschätzung der Tonminerale gebotenen Vorsicht in der Schlußfolgerung kann doch mit allem Vorbehalt gesagt werden, daß es unwahrscheinlich anmuten würde, die in allen Fällen beobachtete Abnahme des Restanteils mit dem Alter des Profils als Zufall zu betrachten.

Die Erscheinung ließe sich durch 2 Möglichkeiten deuten:

1. Der nicht erfaßte Rest wird infolge der geringen Korngröße in nicht untersuchte Teile des Profils ausgewaschen.

2. Die Abnahme ist bedingt durch fortschreitende Kristallisation eines amorphen Anteils.

Die erste Möglichkeit ist unwahrscheinlich; denn in allen Profilen ist der Restanteil in den höheren Horizonten größer als in den tieferen, während man doch gerade bei Auswaschung eine allmähliche Anreicherung der feinsten Teilchen nach unten erwarten sollte. Die zweite Deutung dürfte die beobachtete Regelmäßigkeit besser erklären.

Zusammenfassung.

Es wurde der Versuch unternommen, mit mineralogischen Methoden eine Aussage zu erreichen über den Zusammenhang zwischen dem Wechsel des Mineralbestandes und dem zeitlichen Abstand von Bodenprofilbildungen auf diluvialen Schottern. Dabei ergab sich:

1. Qualitativ.

Einen von der Verwitterungsdauer abhängigen Gang zeigen der Gesamtquarzgehalt und die Glimmer, sowohl in ihrem Gesamtgehalt wie im Verhältnis einachsiger/zweiachsiger. Dabei ist der Gang des Quarzgehaltes abhängig von dem der Glimmer und ihm gegenläufig. Der Kaolinit scheint als Hauptneubildung die Unterschiede am empfindlichsten aufzuzeigen. Die relative Anreicherung der Feldspäte in der Ackerkrume auf Kosten der Glimmer läßt ebenfalls die Abhängigkeit von der Verwitterungsdauer erkennen. Die größere Verwitterungsbeständigkeit des Orthoklas gegenüber dem Plagioklas tritt erst bei den extremen Zersetzungsbedingungen der Ackerkrume in Erscheinung. Der Restanteil der Tonfraktion nimmt mit dem Alter ab, was am wahrscheinlichsten durch fortschreitende Kristallisation erklärt wird.

2. Quantitativ.

Vom Mittel- bis zum Altriß steigt an in den Lößlehmen:

Der Kaolinitgehalt auf das Doppelte,

das Verhältnis Kaolinit/Feldspat auf das Doppelte,

das Verhältnis Glimmer einachsiger/zweiachsiger auf das Vierfache,

das Verhältnis der relativen Feldspatzunahme im Boden zu dem Feldspatgehalt des Untergrundes auf das Doppelte.

3. Organische Substanz.

Bei der DTA der Böden treten 2 unbekannte Reaktionen auf. An Hand von Vergleichsaufnahmen von Ca-hydroxyd, Ca-oxyd, Ca-oxalat, Fe-oxalat, künstlichem und aus den Böden selbst ausgezogenem Calciumhumat kann gezeigt werden:

Die unbekannten Reaktionen sind die Wirkung einer kristallisierten organischen Substanz.

Die Hauptröntgeninterferenzen dieser Substanz finden sich in geringer Intensität und durch starke diffuse Ringe verschleiert schon in dem nicht oxydierten Ca-humat, das durch oxydative Polymerisation aus Hydrochinon dargestellt worden ist.

Die bei den Calciumhumaten beobachteten Röntgeninterferenzen können nicht auf Verunreinigungen zurückgeführt werden, die auf die Herstellung der Präparate zurückgehen. Die beobachteten Interferenzen decken sich nicht mit denen von CaCl_2 , Ca(OH)_2 , CaCO_3 , CaO .

Durch Mischen des künstlichen und der ausgezogenen Calciumhumate mit der entsprechenden anorganischen Unterlage hergestellte künstliche Böden zeigen in der DTA grundsätzlich die gleichen Reaktionen wie die natürlichen Böden, eine endotherme Zacke zwischen 190 und 200° C, eine wesentlich größere exotherme bei 450° C.

Das Mineral tritt im vollständig oxydierten Chinonhumat auf meist in scheibchenförmigen Aggregaten mit $n = 1,50-1,54$. Die Aggregate zeigen Doppelbrechung und sind bei 110° C optisch positiv. Positiv einachsig sind auch nicht aggregierte Blättchen. Nach Erhitzen auf 200° C sind die Aggregate negativ. Künstlich hergestellter Weddellit zeigt dieselben Röntgeninterferenzen und die gleichen DTA-Reaktionen wie das vollständig oxydierte Chinonhumat und die ausgezogenen Humate. Die Bestimmung des Glühverlustes läßt ein Molekulargewicht berechnen, das dem von Weddellit sehr nahe kommt. Die schwefelsaure Lösung des Minerals entfärbt eine Permanganatlösung.

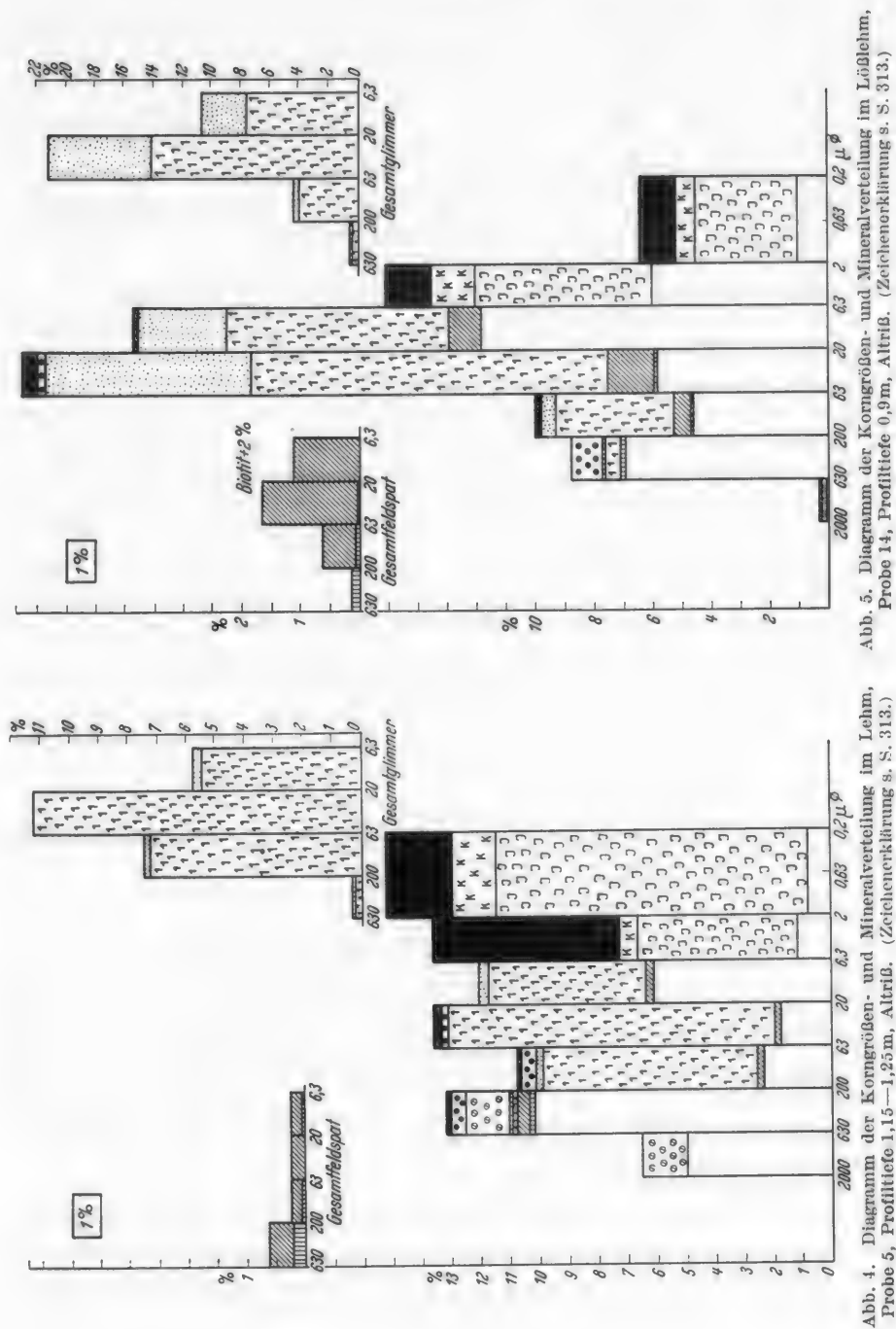
Auf Grund dieser Beobachtungen wird die fragliche kristalline organische Verbindung als Weddellit — $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ — bestimmt.

4. Eisenhydroxyd.

Das Eisenhydroxyd ist in den Böden, Lehmen und Lößlehen sehr wahrscheinlich amorph. Seine Menge nimmt in den Lößlehen mit dem Alter zu, bei den Lehmen ab. Es katalysiert den Zerfall von Wasserstoffperoxyd. Die Oxydationswirkung des Perhydrols in Gegenwart von amorphem Eisenhydroxyd hängt neben anderen Bedingungen auch von der zu oxydierenden organischen Substanz ab. Bei den Böden und den aus ihnen dargestellten Humaten oder humatähnlichen Stoffen wird die Oxydation durch Eisenhydroxyd gemindert, beim Chinonhumat verstärkt.

Ich danke meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor C. W. CORRENS, für die Überlassung und freundliche Förderung der Arbeit, Herrn K. JASMUND für seine Beratung bei der röntgenographischen Bestimmung der Tonminerale, Herrn F. LIPPMANN für die Einführung in die Differentialthermoanalyse und für viele wertvolle Hinweise, Herrn I. SCHAEFER vom Bayerischen Geologischen Landesamt für die Zeiteinstufung der Schotterterrassen.

Anhang.



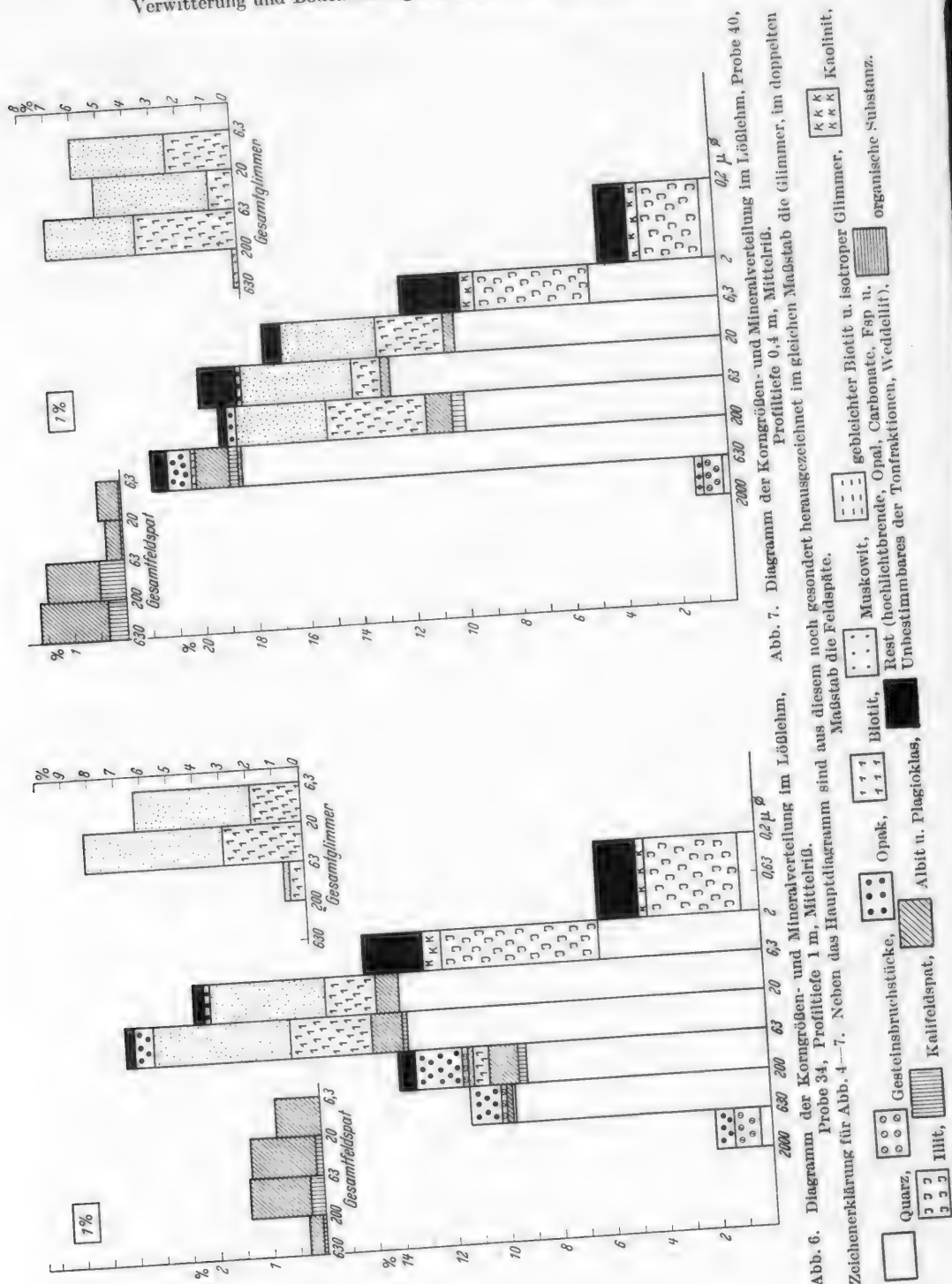


Tabelle 11.

| | Lößlehme | | | Vergleichsprofil | |
|--|-----------|-----------|------|-------------------|-------|
| | Altriß | Mittelriß | | älteres Mittelriß | |
| | | | | 1,5 m | 2,5 m |
| | Probe Nr. | | | | |
| | 14 | 34 | 40 | 43 | 44 |
| Gesamtquarz in % | 37 | 54 | 56 | 51 | 64 |
| Gesamtfeldspat in % | 3,5 | 4,1 | 3,8 | 4,9 | 7,6 |
| Gesamtglimmer in % | 37 | 15 | 19 | 16 | 11 |
| Gesamtkalinit in % | 2,8 | 1,4 | 1,5 | 1,9 | 1,2 |
| Gesamtillit in % | 13 | 13 | 9 | 13 | 8 |
| Gesamttonminerale in % | 15,8 | 14,5 | 10,7 | 14,8 | 9,4 |
| Orthoklas/Plagioklas | 0,07 | 0,13 | 0,3 | 0,32 | 0,31 |
| Glimmer I/Glimmer II | 2,56 | 0,64 | 0,67 | 0,91 | 0,46 |
| Ges. Kaolinit/Ges. Feldspat | 0,8 | 0,33 | 0,39 | 0,38 | 0,16 |
| Feldspat <u>Boden-Untergrund</u> | | | | | |
| <u>Untergrund</u> | | | | | |
| Kaolinit <u>Boden-Untergrund</u> | | | | | |
| <u>Untergrund</u> | | | | | |

Tabelle 12. *Ergebnis der halbquantitativen Bestimmung der Minerale der Fraktionen < 2 und 2–6,3 µ nach der DTA in Prozenten.*

| Nr. | Fraktion | Illit | Kaolinit | Quarz | Anteil der Fraktion | Oxydationsverlust | Illit gesamt | Kaolinit gesamt | Quarz gesamt |
|-----|----------|-------|----------|-------|---------------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|
| 7 | <2 | 40 | 5 | 20 | 10,3 | 5,3 | 3,90 | 0,50 | 1,96 |
| | 2–6,3 | 30 | <5 | 40 | 13,9 | 5,1 | 4,00 | 0,33 | 5,30 |
| 17 | <2 | 40 | <5 | 15 | 8,9 | 5,6 | 3,40 | 0,21 | 1,26 |
| | 2–6,3 | 30 | <5 | 30 | 11,5 | 5,7 | 3,20 | 0,27 | 3,30 |
| 35 | <2 | 50 | <5 | 10 | 5,4 | 3,7 | 2,60 | 0,13 | 0,52 |
| | 2–6,3 | 30 | <5 | 20 | 10,3 | 4,8 | 3,0 | 0,25 | 2,00 |
| 42 | <2 | 40 | <5 | 10 | 6,1 | 4,9 | 2,30 | 0,15 | 0,58 |
| | 2–6,3 | 40 | <5 | 20 | 11,8 | 5,8 | 4,50 | 0,28 | 2,24 |
| 29 | <2 | 40 | <5 | 10 | 6,2 | 6,4 | 2,36 | 0,15 | 0,58 |
| | 2–6,3 | 30 | 0 | 30 | 13,8 | 5,1 | 3,86 | 0 | 3,86 |
| 23 | <2 | 50 | <5 | 10 | 6,1 | 7,2 | 2,87 | 0,14 | 0,57 |
| | 2–6,3 | 30 | 0 | 15 | 13,5 | 6,4 | 3,78 | 0 | 1,90 |
| 27 | <2 | 50 | 5 | <10 | 23,5 | 3,0 | 11,50 | 1,18 | 1,18 |
| | 2–6,3 | 40 | <5 | 20 | 11,6 | 3,0 | 4,60 | 0,28 | 2,30 |
| 21 | <2 | 50 | <5 | 10 | 18,7 | 3,9 | 9,00 | 0,45 | 1,80 |
| | 2–6,3 | 30 | 0 | 30 | 12,5 | 3,1 | 3,60 | 0 | 3,60 |
| 5 | <2 | 70 | 10 | <10 | 30,4 | | 21,30 | 3,04 | 1,50 |
| | 2–6,3 | 40 | 5 | 15 | 13,6 | | 5,45 | 0,68 | 1,10 |
| 13 | <2 | 70 | 10 | 10 | 22,4 | | 15,70 | 2,24 | 2,24 |
| | 2–6,3 | 50 | 10 | 30 | 15,8 | | 7,90 | 1,58 | 4,75 |
| 15 | <2 | 60 | 10 | <10 | 16,4 | | 9,80 | 1,60 | 0,80 |
| | 2–6,3 | 50 | 10 | 20 | 16,4 | | 8,20 | 1,60 | 3,30 |
| 33 | <2 | 70 | 10 | <10 | 16,1 | | 11,30 | 1,60 | 1,60 |
| | 2–6,3 | 50 | 5 | 20 | 11,7 | | 5,90 | 0,60 | 2,30 |
| 38 | <2 | 70 | 10 | 10 | 23,6 | | 16,50 | 2,40 | 2,40 |
| | 2–6,3 | 40 | 5 | 20 | 13,6 | | 5,45 | 0,68 | 2,70 |

Auswertungstabelle.

| Lehme | | | | Böden | | | | Schwarzer Horizont der jungen Böden | | | |
|-----------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|-------|------|------|
| Altriß | | Mittelriß | | | | | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | | | | | | | |
| 5 | 13 | 33 | 38 | 7 | 17 | 35 | 42 | 29 | 23 | 27 | 21 |
| 28 | 40 | 38 | 36 | 66 | 68 | 66 | 66 | 67 | 65 | 41 | 57 |
| 1,3 | 1,4 | 1,9 | 1,1 | 5,3 | 7,5 | 6,6 | 6,3 | 6,2 | 7,8 | 4,3 | 8,5 |
| 25 | 20 | 26 | 20 | 5 | 5 | 8 | 7 | 4 | 6 | 12 | 2 |
| 3,7 | 3,8 | 2,2 | 3,0 | 0,9 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 1,5 | 0,5 |
| 27 | 24 | 17 | 22 | 8 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 16 | 13 |
| 30,5 | 27,4 | 19,4 | 25,1 | 9,2 | 7,5 | 6,2 | 7,5 | 6,8 | 7,3 | 17,8 | 13,6 |
| 0,28 | 0,27 | 0,43 | 0,50 | 0,43 | 0,67 | 0,56 | 0,51 | 0,53 | 0,29 | 0,30 | 0,27 |
| 39,0 | 100,0 | 140,0 | 270,0 | 17,0 | 13,5 | 15,6 | 17,0 | 10,8 | 5,6 | 42,0 | 5,7 |
| 2,9 | 2,7 | 1,15 | 2,8 | 0,16 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,34 | 0,06 |
| | | | | +3,1 | +1,14 | +0,61 | +0,66 | +0,44 | −0,08 | | |
| | | | | −0,77 | −0,82 | −0,71 | −0,70 | −0,90 | −0,70 | | |

Tabelle 12. (Fortsetzung.)

| Nr. | Fraktion | Illit | Kaolinit | Quarz | Anteil der Fraktion | Oxydationsverlust | Illit gesamt | Kaolinit gesamt | Quarz gesamt |
|-----|----------|-------|----------|-------|---------------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|
| 14 | <2 | 60 | 10 | 15 | 12,8 | | 7,70 | 1,28 | 1,90 |
| | 2—6,3 | 40 | 10 | 40 | 15,1 | | 6,00 | 1,50 | 6,00 |
| 34 | <2 | 60 | 5 | 10 | 12,1 | | 7,20 | 0,60 | 1,20 |
| | 2—6,3 | 40 | <5 | 40 | 15,0 | | 6,00 | 0,75 | 6,00 |
| 40 | <2 | 50 | 10 | 10 | 8,7 | | 4,35 | 0,87 | 0,87 |
| | 2—6,3 | 40 | 5 | 40 | 12,0 | | 4,80 | 0,60 | 4,80 |
| 43 | <2 | 60 | 10 | <10 | 15,0 | | 9,00 | 1,50 | 0,75 |
| | 2—6,3 | 30 | <5 | 20 | 13,4 | | 4,00 | 0,34 | 2,70 |
| 44 | <2 | 60 | 10 | <10 | 7,8 | | 4,70 | 0,78 | 0,39 |
| | 2—6,3 | 40 | 5 | 20 | 8,7 | | 3,50 | 0,44 | 1,74 |

<5 wurde in der Auswertung eingesetzt mit 2,5; <10 wurde in der Auswertung mit 5 eingesetzt.

Tabelle 13. Böden.

| Nr. | Fraktion | Quarz | Or | Pl | Gl. I | Gl. II | Gl. I gen. | Gl. is | Gest. brst. | Smin. | opak | Illit | Kaol. | org. S. | Rest | Summe |
|-----|----------|-------|------|------|-------|--------|------------|--------|-------------|-------|------|-------|-------|---------|------|-------|
| 7 | <2 | 1,96 | | | | | | | | | | 3,90 | 0,50 | 0,52 | 3,42 | 10,3 |
| | 2—6,3 | 5,30 | | | | | | | | | | 4,0 | 0,33 | 0,70 | 3,57 | 13,9 |
| | 6,3—20 | 12,04 | 0,40 | 0,07 | 0,07 | 3,3 | 0,30 | 0,28 | 0,30 | 0,26 | 0,25 | | | 0,07 | 0,47 | 17,3 |
| | 20—63 | 9,14 | 0,27 | 0,99 | 0,17 | 0,62 | 0,25 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,22 | | | 0,25 | | 12,2 |
| | 63—200 | 14,07 | 0,63 | 0,80 | 0,04 | 0,11 | 0,11 | | | 0,11 | 0,22 | | | 2,37 | 0,04 | 18,5 |
| | 200—630 | 19,2 | 0,54 | 1,31 | | | | 0,92 | | | 0,28 | | | 1,15 | | 23,4 |
| | 630—2000 | 0,80 | | | | | | 3,60 | | | | | | | | 4,4 |
| | Summe | 62,51 | 1,44 | 3,50 | 0,07 | 0,28 | 4,03 | 0,66 | 4,52 | 0,65 | 1,05 | 7,90 | 0,83 | 5,06 | 7,50 | 100 |
| 17 | <2 | 1,26 | | | | | | | | | | 3,40 | 0,21 | 0,50 | 3,53 | 8,9 |
| | 2—6,3 | 3,30 | | | | | | | | | | 3,20 | 0,27 | 0,65 | 4,08 | 11,5 |
| | 6,3—20 | 13,13 | 0,66 | 0,20 | | 0,04 | 3,24 | 0,70 | 0,30 | 0,10 | | | | 1,43 | 0,30 | 20,1 |
| | 20—63 | 17,32 | 0,70 | 2,00 | 0,09 | | 0,43 | 0,34 | 0,56 | 0,13 | | | | 0,83 | | 22,4 |
| | 63—200 | 13,60 | 0,73 | 0,99 | 0,06 | | 0,22 | | 0,24 | 0,20 | | | | 2,20 | | 18,3 |
| | 200—630 | 14,10 | 0,90 | 0,71 | 0,04 | 0,07 | | | 0,03 | 0,40 | | | | 1,75 | | 18,0 |
| | 630—2000 | 0,15 | | | | | | 0,47 | | | | | | 0,18 | | 0,8 |
| | Summe | 62,86 | 2,99 | 3,90 | 0,19 | 0,11 | 3,89 | 1,04 | 0,53 | 1,13 | 0,83 | 6,60 | 0,48 | 7,54 | 7,91 | 100 |

Tabelle 13. (Fortsetzung.)

| Nr. | Fraktion | Quarz | Or | Pl | Gl. I | Gl. II | Gl. I gen. | Gl. is | Gest. brst. | Smin. | opal | Illit | Kaol. | org. S. | Rest. | Summe |
|-----|----------|-------|------|------|-------|--------|------------|--------|-------------|-------|------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 35 | <2 | 0,52 | | | | | | | | | | 2,60 | 0,13 | 0,22 | 1,93 | 5,4 |
| | 2—6,3 | 2,00 | | | | | | | | | | 3,00 | 0,25 | 0,52 | 4,53 | 10,3 |
| | 6,3—20 | 11,17 | | 0,14 | | | 2,24 | 1,25 | | 0,37 | 0,14 | | | 1,12 | 0,44 | 16,9 |
| | 20—63 | 15,75 | 0,77 | 2,00 | 0,03 | | 1,72 | 1,43 | | 1,38 | 0,26 | | | 2,70 | 0,05 | 26,5 |
| | 63—200 | 18,80 | 1,19 | 0,71 | 0,12 | 0,32 | 0,28 | 0,10 | | 0,88 | | | | 0,64 | 0,20 | 22,9 |
| | 200—630 | 13,2 | 0,36 | 0,49 | | 0,09 | | | 0,79 | 0,06 | 0,06 | | | 1,39 | | 16,4 |
| | 630—2000 | 0,35 | | | 0,03 | 0,03 | | | 0,58 | | | | | 0,67 | | 1,6 |
| | Summe | 61,79 | 2,32 | 3,34 | 0,18 | 0,44 | 4,24 | 2,78 | 1,37 | 2,69 | 0,46 | 5,60 | 0,38 | 7,26 | 7,15 | 100 |
| 42 | <2 | 0,58 | | | | | | | | | | 2,30 | 0,15 | 0,37 | 2,70 | 6,1 |
| | 2—6,3 | 2,24 | | | | | | | | | | 4,50 | 0,28 | 0,70 | 4,08 | 11,8 |
| | 6,3—20 | 13,40 | 0,02 | 0,95 | | | 2,40 | 1,10 | | 0,19 | 0,19 | | | 0,40 | 0,15 | 18,8 |
| | 20—63 | 17,74 | 0,50 | 1,59 | | 0,40 | 2,18 | 1,59 | | 0,96 | 0,26 | | | 0,78 | | 26,0 |
| | 63—200 | 16,45 | 0,98 | 0,80 | | 0,08 | 0,04 | 0,12 | | 0,60 | | | | 0,78 | 0,04 | 19,9 |
| | 200—630 | 13,0 | 0,61 | 0,65 | | | | | 0,20 | | 0,50 | | | 1,14 | | 16,1 |
| | 630—2000 | 0,16 | | | | | | | 1,04 | | | | | 0,10 | | 1,3 |
| | Summe | 63,63 | 2,11 | 3,99 | | 0,48 | 4,62 | 2,81 | 1,24 | 1,75 | 0,95 | 6,80 | 0,43 | 4,27 | 6,97 | 100 |
| 23 | <2 | 0,57 | | | | | | | | | | 2,87 | 0,14 | 0,43 | 2,09 | 6,1 |
| | 2—6,3 | 1,90 | | | | | | | | | | 3,78 | | 0,87 | 6,95 | 13,5 |
| | 6,3—20 | 15,73 | 0,10 | 1,20 | 0,14 | | 1,46 | 1,06 | | 0,26 | 0,14 | | | 2,80 | 0,71 | 23,6 |
| | 20—63 | 18,86 | 0,68 | 2,18 | | 0,71 | 0,71 | 0,76 | | 0,95 | 0,39 | | | 4,30 | 0,06 | 29,6 |
| | 63—200 | 13,46 | 0,56 | 1,80 | 0 | 0,05 | 0,11 | 0,10 | | 0,63 | 0,21 | | | 1,04 | 0,04 | 18,0 |
| | 200—630 | 6,28 | 0,23 | 0,26 | | | | | 0,12 | | 0,11 | | | 1,20 | | 8,2 |
| | 630—2000 | 0,14 | | | | | | | 0,44 | | | | | 0,42 | | 1,0 |
| | Summe | 66,94 | 1,57 | 5,44 | 0,14 | 0,76 | 2,28 | 1,92 | 0,56 | 1,84 | 0,85 | 6,65 | 0,14 | 11,06 | 9,85 | 100 |
| 29 | <2 | 0,58 | | | | | | | | | | 2,36 | 0,15 | 0,40 | 2,71 | 6,2 |
| | 2—6,3 | 3,86 | | | | | | | | | | 3,86 | | 0,81 | 5,27 | 13,8 |
| | 6,3—20 | 14,57 | 0,07 | 0,62 | | | 0,81 | 0,27 | | 0,23 | 0,08 | | | 1,90 | 0,65 | 19,2 |
| | 20—63 | 10,55 | 0,48 | 1,16 | | 0,17 | 1,00 | 0,40 | | 0,83 | 0,30 | | | 3,36 | 0,15 | 18,4 |
| | 63—200 | 16,97 | 0,97 | 1,30 | 0,04 | 0,09 | 0,11 | | | 0,27 | 0,21 | | | 0,95 | 0,09 | 21,0 |
| | 200—630 | 13,94 | 0,52 | 0,57 | | | | | 1,86 | | 0,15 | | | 1,36 | | 18,4 |
| | 630—2000 | 2,27 | | | | | | | 0,53 | | | | | 0,20 | | 3,0 |
| | Summe | 62,74 | 2,04 | 3,65 | 0,04 | 0,26 | 1,92 | 0,67 | 2,39 | 1,33 | 0,74 | 6,22 | 0,15 | 8,98 | 8,87 | 100 |

Zeichenerklärung: Or = Orthoklas, Pl = Plagioklas, Gl. I = einachsiger Glimmer, Gl. II = zweiachsiger Glimmer, Gl. I gen. = einachsiger Glimmer, genarbt (mit Schüppchen besetzt), Gl. is = fast isotroper Glimmer, Gest. brst. = Gesteinsbruchstücke, Kaol. = Kaolinit, org. S. = organische Substanz. Die Zahlen bedeuten Prozente.

Tabelle 14. Schwarze Horizonte und Lehme.

| Nr. | Fraktion | Quarz | Or | Pl | Gl. I | Gl. II | Gl. I gen. | Gl. is | Gest. brst. | Smin. | opak | Illit | Koal. | org. S. | Rest | Summe |
|-----|----------|-------|------|------|-------|--------|------------|--------|-------------|-------|------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 21 | <2 | 1,80 | | | | | | | | | | 9,00 | 0,45 | 0,75 | 6,70 | 18,7 |
| | 2—6,3 | 3,60 | | | | | | | | | | 3,60 | | 0,40 | 4,9 | 12,5 |
| | 6,3—20 | 11,71 | 0,19 | 0,86 | | | 0,33 | 0,62 | | 0,31 | | | | 1,50 | 0,08 | 15,6 |
| | 20—63 | 11,88 | 0,34 | 2,17 | | 0,28 | 0,13 | 0,50 | | 0,72 | 0,09 | | | 2,42 | 0,17 | 18,7 |
| | 63—200 | 13,09 | 0,65 | 2,25 | | | 0,10 | 0,10 | | 0,52 | | | | 2,35 | 0,04 | 19,1 |
| | 200—630 | 8,94 | 0,25 | 0,83 | | | | | 1,14 | 0,08 | 2,13 | | | 0,03 | | 13,4 |
| | 630—2000 | 0,52 | | | | | | | 1,48 | | | | | | | 2,0 |
| | Summe | 51,54 | 1,43 | 6,11 | | 0,28 | 0,56 | 1,22 | 2,62 | 1,63 | 2,22 | 12,6 | 0,45 | 7,45 | 11,89 | 100 |
| 27 | <2 | 1,18 | | | | | | | | | | 11,5 | 1,18 | 0,47 | 9,17 | 23,5 |
| | 2—6,3 | 2,30 | | | | | | | | | | 4,60 | 0,28 | 0,17 | 4,25 | 11,6 |
| | 6,3—20 | 7,34 | 0,01 | 0,20 | | | 1,50 | 0,15 | | 0,02 | 0,05 | | | 0,33 | | 9,6 |
| | 20—63 | 4,72 | | 0,32 | | 0,08 | 4,90 | 0,24 | | 0,23 | 0,10 | | | 0,26 | 0,15 | 11,0 |
| | 63—200 | 7,13 | 0,29 | 0,80 | 0,03 | 0,16 | 4,10 | 0,10 | | 0,30 | | | | 0,62 | 0,07 | 13,6 |
| | 200—630 | 16,78 | 0,68 | 1,91 | 0,13 | | | | 4,50 | | 1,78 | | | 0,42 | | 26,2 |
| | 630—2000 | 0,82 | | | | | | | 3,40 | | | | | 0,28 | | 4,5 |
| | Summe | 40,27 | 0,98 | 3,23 | 0,16 | 0,24 | 10,50 | 0,49 | 7,90 | 0,55 | 1,93 | 16,10 | 1,46 | 2,55 | 13,64 | 100 |

Tabelle 14. (Fortsetzung.)

| Nr. | Fraktion | Quarz | Or | Pl | Gl. I | Gl. II | Gl. I gen. | Gl. Is | Gest. brst. | Smin. | opak | Illit | Koal. | org. S. | Rest | Summe |
|-----|----------|-------|------|------|-------|--------|---------------|--------|----------------|-------|------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 5 | <2 | 1,50 | | | | | | | | | | 21,30 | 3,04 | | 4,56 | 30,4 |
| | 2—6,3 | 1,10 | | | | | | | | | | 5,45 | 0,68 | | 6,37 | 13,6 |
| | 6,3—20 | 6,00 | 0,03 | 0,22 | 5,44 | 0,31 | | | | | | | | | | 12,0 |
| | 20—63 | 1,70 | | 0,23 | 11,21 | | | | | | 0,27 | | | | 0,19 | 13,6 |
| | 63—200 | 2,35 | 0,05 | 0,18 | 7,27 | 0,22 | | | | | 0,44 | | | | 0,19 | 10,7 |
| | 200—630 | 10,12 | 0,21 | 0,40 | 0,21 | 0,08 | | | 1,52 | | 0,53 | | | | 0,13 | 13,2 |
| | 630—2000 | 4,98 | | | | | | | 1,52 | | | | | | | 6,5 |
| | Summe | 27,75 | 0,29 | 1,03 | 24,13 | 0,61 | | | 3,04 | | 1,24 | 26,75 | 3,72 | | 11,44 | 100 |
| 13 | <2 | 2,24 | | | | | | | | | | 15,70 | 2,24 | | 2,22 | 22,4 |
| | 2—6,3 | 4,75 | | | | | | | | | | 7,90 | 1,58 | | 1,57 | 15,8 |
| | 6,3—20 | 14,37 | | 0,23 | 10,70 | | | | | | | | | | | 25,3 |
| | 20—63 | 5,50 | 0,04 | 0,16 | 7,71 | | | | | | | | | | 0,09 | 13,5 |
| | 63—200 | 5,38 | 0,20 | 0,38 | 1,71 | 0,19 | | | | | | | | | 0,04 | 7,9 |
| | 200—630 | 7,30 | 0,06 | 0,34 | | | | | 1,50 | | 1,54 | | | | 0,16 | 10,9 |
| | 630—2000 | 0,13 | | | | | | | 4,07 | | | | | | | 4,2 |
| | Summe | 39,67 | 0,30 | 1,11 | 20,12 | 0,19 | | | 5,57 | | 1,54 | 23,60 | 3,82 | | 4,08 | 100 |
| 33 | <2 | 1,60 | | | | | | | | | | 11,30 | 1,60 | | 1,60 | 16,1 |
| | 2—6,3 | 2,30 | | | | | | | | | | 5,90 | 0,60 | | 2,90 | 11,7 |
| | 6,3—20 | 8,91 | 0,05 | 0,17 | 11,97 | | | | | | | | | | 0,20 | 21,3 |
| | 20—63 | 6,23 | 0,03 | 0,34 | 8,55 | | | | | | | | | | 0,05 | 15,2 |
| | 63—200 | 7,29 | 0,14 | 0,42 | 5,56 | 0,19 | | | | | | | | | 0,40 | 14,0 |
| | 200—630 | 12,13 | 0,34 | 0,37 | | | | | 2,14 | | 2,58 | | | | 0,14 | 17,7 |
| | 630—2000 | 0,35 | | | | | | | 3,65 | | | | | | | 4,0 |
| | Summe | 38,81 | 0,56 | 1,30 | 26,08 | 0,19 | | | 5,79 | | 2,58 | 17,20 | 2,20 | | 5,29 | 100 |
| 38 | <2 | 2,40 | | | | | | | | | | 16,50 | 2,40 | | 2,30 | 23,6 |
| | 2—6,3 | 2,70 | | | | | | | | | | 5,45 | 0,68 | | 4,77 | 13,6 |
| | 6,3—20 | 13,16 | 0,10 | 0,09 | 8,14 | | | | | | | | | | 0,11 | 21,6 |
| | 20—63 | 4,10 | 0,03 | 0,14 | 6,99 | 0,03 | | | | | | | | | 0,11 | 11,4 |
| | 63—200 | 5,36 | 0,16 | 0,18 | 4,29 | 0,04 | | | | | | | | | 0,17 | 10,2 |
| | 200—630 | 7,77 | 0,12 | 0,31 | | | | | 2,30 | | 1,00 | | | | | 11,5 |
| | 630—2000 | 0,50 | | | | | | | 7,60 | | | | | | | 8,1 |
| | Summe | 35,99 | 0,41 | 0,72 | 19,42 | 0,07 | | | 9,90 | | 1,00 | 21,95 | 3,08 | | 7,46 | 100 |

Tabelle 15. Löfflehm.

| Nr. | Fraktion | Quarz | Or | Pl | Gl. I | Gl. II | Gest. brst. | opak | Illit | Kaol. | Rest | Summe |
|-----|----------|-------|------|------|-------|--------|----------------|------|-------|-------|------|-------|
| 14 | <2 | 1,90 | | | | | | | 7,00 | 1,28 | 2,62 | 12,8 |
| | 2—6,3 | 6,00 | | | | | | | 6,00 | 1,50 | 1,60 | 15,1 |
| | 6,3—20 | 11,82 | | 1,11 | 7,60 | 2,96 | | 0,07 | | | 0,10 | 23,66 |
| | 20—63 | 5,88 | 0,03 | 1,62 | 14,22 | 6,90 | | 0,30 | | | 0,50 | 29,45 |
| | 63—200 | 4,61 | 0,06 | 0,56 | 4,03 | 0,43 | | 0,09 | | | 0,18 | 9,96 |
| | 200—630 | 6,92 | 0,14 | | 0,53 | 0,04 | | 1,10 | | | | 8,73 |
| | 631—2000 | 0,04 | | | | | 0,19 | 0,07 | | | | 0,30 |
| | Summe | 37,17 | 0,23 | 3,29 | 26,38 | 10,33 | 0,19 | 1,63 | 13,0 | 2,78 | 5,00 | 100 |
| 34 | <2 | 1,20 | | | | | | | 7,20 | 0,60 | 3,10 | 12,10 |
| | 2—6,3 | 6,00 | | | | | | | 6,00 | 0,75 | 2,25 | 15,00 |
| | 6,3—20 | 13,76 | | 0,84 | 1,89 | 4,37 | | 0,17 | | | 0,47 | 21,50 |
| | 20—63 | 13,50 | 0,14 | 1,21 | 3,04 | 5,20 | | 0,67 | | | 0,34 | 24,10 |
| | 63—200 | 9,09 | 0,28 | 1,11 | 0,60 | 0,19 | 0,15 | 1,78 | | | 0,70 | 13,90 |
| | 200—630 | 9,63 | 0,06 | 0,25 | | | 0,20 | 1,16 | | | | 11,30 |
| | 630—2000 | 0,42 | | | | | 0,97 | 0,71 | | | | 2,10 |
| | Summe | 53,60 | 0,48 | 3,41 | 5,53 | 9,76 | 1,32 | 4,49 | 13,20 | 1,35 | 6,86 | 100 |

Tabelle 15. (Fortsetzung.)

| Nr. | Fraktion | Quarz | Or | Pl | Gl. I | Gl. II | Gest. brst. | opak | Illit | Kaol. | Rest | Summe |
|-------|----------|-------|------|------|-------|--------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 40 | <2 | 0,87 | | | | | | | 4,35 | 0,87 | 2,61 | 8,70 |
| | 2—6,3 | 4,80 | | | | | | | 4,80 | 0,60 | 1,80 | 12,0 |
| | 6,3—20 | 10,06 | 0,04 | 0,40 | 2,56 | 3,54 | | 0,05 | | | 0,65 | 17,30 |
| | 20—63 | 12,58 | 0,02 | 0,31 | 1,05 | 4,27 | | 0,18 | | | 1,39 | 19,80 |
| | 63—200 | 9,81 | 0,48 | 0,98 | 3,80 | 3,40 | | 0,40 | | | 0,23 | 19,10 |
| | 200—630 | 18,37 | 0,35 | 1,26 | 0,15 | 0,02 | 0,13 | 0,87 | | | 0,65 | 21,80 |
| | 630—2000 | 0,26 | | | | | 0,74 | 0,30 | | | | 1,30 |
| 43 | Summe | 56,75 | 0,89 | 2,95 | 7,56 | 11,23 | 0,87 | 1,80 | 9,15 | 1,47 | 7,33 | 100 |
| | <2 | 0,75 | | | | | | | 9,00 | 1,50 | 3,75 | 15,00 |
| | 2—6,3 | 2,70 | | | | | | | 4,00 | 0,34 | 6,36 | 13,40 |
| | 6,3—20 | 14,56 | 0,02 | 0,45 | 3,58 | 4,10 | | | | | 0,09 | 22,80 |
| | 20—63 | 20,30 | 0,58 | 2,12 | 3,27 | 3,76 | | | | | 0,27 | 30,30 |
| | 63—200 | 8,18 | 0,41 | 0,88 | 0,56 | 0,29 | 0,10 | 0,51 | | | 0,57 | 11,50 |
| | 200—630 | 4,78 | 0,19 | 0,27 | 0,05 | 0,10 | | 0,98 | | | 0,13 | 6,50 |
| 44 | 630—2000 | 0,06 | | | | | 0,20 | 0,24 | | | | 0,50 |
| | Summe | 51,33 | 1,20 | 3,72 | 7,46 | 8,25 | 0,30 | 1,73 | 13,0 | 1,84 | 11,17 | 100 |
| | <2 | 0,40 | | | | | | | 4,70 | 0,78 | 1,92 | 7,80 |
| | 2—6,3 | 1,74 | | | | | | | 3,50 | 0,44 | 3,02 | 8,70 |
| | 6,3—20 | 11,20 | 0,03 | 0,24 | 1,41 | 3,16 | | | | | 0,06 | 16,10 |
| | 20—63 | 20,96 | 0,55 | 2,39 | 1,41 | 3,29 | | | | | 0,20 | 28,80 |
| | 63—200 | 10,60 | 0,74 | 1,69 | 0,56 | 1,14 | 0,38 | | | | 0,89 | 16,00 |
| | 200—630 | 18,60 | 0,48 | 1,43 | 0,16 | 0,16 | | | | | 0,47 | 21,30 |
| | 630—2000 | 0,62 | | | | | 0,68 | | | | | 1,30 |
| Summe | | 64,12 | 1,80 | 5,75 | 3,54 | 7,75 | 1,06 | | 8,20 | 1,22 | 6,56 | 100 |

Literatur.

- BANNISTER, F. A., u. M. H. HEY: Report on some crystalline components of the Weddell Sea deposits. *Discovery Reports* Bd. 13 (1936) S. 60—69. — BRINDLEY, G. W.: x-ray identification and crystal structures of clay minerals. London 1951. — CORRENS, C. W., u. W. SCHOTT: Vergleichende Untersuchungen über Schlamm- und Aufbereitungsverfahren von Tonen. *Kolloid-Z.* Bd. 61 (1932) S. 68. — BARTH-CORRENS-ESKOLA: Die Entstehung der Gesteine. — DEB, B. C.: The estimation of free ironoxides in soils and clays and their removal. *I. Soil Sci.* Bd. 1 (1950) S. 212—220. — ENGELHARDT, W. v.: Zerfall und Aufbau von Mineralen in norddeutschen Bleicherde-waldböden. *Chem. d. Erde* Bd. 13 (1940) S. 1. — FÜCHTBAUER, H.: Die nichtkarbonatischen Bestandteile des Göttinger Muschelkalks. Heidelberg. *Beitr. Mineral. u. Petrogr.* Bd. 2 (1951) S. 235—254. — HÜTTIG, G. F., u. H. GARSIDE: Zur Kenntnis des Systems Eisenoxyd-Wasser. *Z. anorg. allg. Chem.* Bd. 179 (1929) S. 49. — HUFFMANN, H.: Mineralogische Untersuchungen an drei Bodenprofilen über Basalt und Muschelkalk südlich Dransfeld. *Diss. Göttingen* 1948. — JASMUND, K.: Über den röntgenographischen Nachweis der Tonminerale. Vortrag auf der Hauptversammlung der Dtsch. Keram. Ges. 23. Sept. 1950. — Texturaufnahmen von blättchenförmigen Mineralen submikroskopischer Größenordnung in einer DEBYE-SCHERRER-Kamera. *Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont. Mh.* H. 3 (1950) S. 63. — KUBACH, J.: Mineralogische Untersuchungen einiger Lößbodenprofile Mitteldeutschlands. *Chem. d. Erde* Bd. 15 (1943). — LIPPMANN, F.: Mineralogische Untersuchungen an einigen niederhessischen Tertiärtonen. Heidelberg. *Beitr. Mineral. u. Petrogr.* Bd. 3 (1952) S. 219—252. — MAKENZIE, R. C.: Problems of Clay- and Laterite-Genesis. The American Institut of Mining and Metallurgie Engineers. New York 1952. S. 65—75. — OSTWALD, W.: Die kleine Farbmeßtafel. — PHILIPPSBOHN, H. v.: Über Calciumoxalat. *Fortschr. Mineral., Kristallogr. Petrogr.* Bd. 29/30 (1950/51) S. 393. — SCHLICHTING, E.: Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde Bd. 61 (106) (1953) H. 3. — THUN, R.: Die Untersuchung von Böden. Hamburg 1949. — WALKER, G. F.: The decomposition of biotite in the soil. *Mineral. Mag.* Bd. 28, Nr. 206, S. 693—703.

Dr. MATTHIAS SALGER,

Geologisch-Mineralogisches Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe.